

Universidade Federal do Rio de Janeiro

ANÁLISE DO ESTAQUEAMENTO DO BERÇO 301 DO TERMINAL DE CONTÊINERES DO PORTO DE ITAGUAÍ

Gabriel Berenguer Vieira

2014

# ANÁLISE DO ESTAQUEAMENTO DO BERÇO 301 DO TERMINAL DE CONTÊINERES DO PORTO DE ITAGUAÍ

Gabriel Berenguer Vieira

**Projeto de graduação apresentado ao curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.**

Orientador

Fernando Artur Brasil Danziger

Co-Orientador

Francisco de Rezende Lopes

Rio de Janeiro

Março/2014

ANÁLISE DO ESTAQUEAMENTO DO BERÇO 301 DO TERMINAL DE CONTÊINERES DO PORTO DE  
ITAGUAÍ

Gabriel Berenguer Vieira

**PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE  
DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE  
ENGENHEIRO CIVIL.**

Examinada por:

---

Professor Fernando Artur Brasil Danziger

---

Professor Francisco de Rezende Lopes

---

Engenheiro Gustavo Vaz de Mello Guimarães

---

Engenheiro Roney de Moura Gomes

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO de 2014

Vieira, Gabriel Berenguer

Análise do estaqueamento do Berço 301 do Terminal de  
Contêineres do Porto de Itaguaí/ Gabriel Berenguer Vieira – Rio de  
Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2014.

x, 111p.: il. color.; 29,7 cm.

Orientador: Fernando Artur Brasil Danziger

Co-Orientador: Francisco de Rezende Lopes

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica / Curso  
de Engenharia Civil, 2014.

Referências Bibliográficas: p 65-66

1. Porto de Itaguaí 2. Berço 301 3. Análise das sondagens 4.  
Estaqueamento Berço 301 5. Superfícies geradas I. Danziger,  
Fernando Artur Brasil II. Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil III. Título

## Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos os meus familiares, especialmente aos meus pais, pelo constante apoio dado, não somente no período em que estive na faculdade, mas em toda minha vida. Dizer muito obrigado a diversos docentes da Escola Politécnica, em especial aos professores Fernando Danziger e Francisco Lopes que me ajudaram muito nesse período de faculdade e que tive o prazer de conviver durante a elaboração deste projeto de graduação.

Ainda, agradecimento especial ao Engenheiro Roney Gomes pelo grande apoio dado durante esses anos de graduação, e a todos os amigos que me apoiaram e que tive o prazer de conhecer na Escola Politécnica, principalmente, João Lopes Farias, André Mascarenhas, Guilherme Taves e Luiz Damasceno. Todos vocês são responsáveis pelo sucesso da minha vida profissional que está por vir. Muito obrigado!

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Análise do estaqueamento do Berço 301 do Terminal de Contêineres do Porto de Itaguaí

Gabriel Berenguer Vieira

Março/2014

Orientador: Fernando Artur Brasil Danziger

Co-Orientador: Francisco de Rezende Lopes

Curso: Engenharia Civil

Este trabalho de conclusão de curso trata de uma análise do estaqueamento do Berço 301 do Terminal de Contêineres do Porto de Itaguaí. Foram realizadas análises das sondagens executadas no local e dos boletins de cravação de estacas. Através destes boletins foi possível gerar superfícies comparando-as com os resultados das sondagens. Além disso, através dos resultados dos Ensaio de Carregamento Dinâmico, realizou-se uma comparação da capacidade de carga das estacas com o método de Aoki-Velloso. Foram elaborados diagramas de cravação, os quais permitiram uma comparação entre a cravação das estacas e os resultados exportados com os boletins de sondagens. Também foram analisados os martelos utilizados na obra, além das negas das estacas.

**Palavras-chave:** Sondagens à percussão; Estaqueamento Berço 301; Porto de Itaguaí; Diagramas de Cravação; Ensaio de Carregamento Dinâmico.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements  
for the degree of Engineer.

Analysis of the Berth 301 pilling from the Container Terminal of the Port of Itaguaí

Gabriel Berenguer Vieira

March/2014

Advisor: Fernando Danziger

Co-Advisor: Francisco Lopes

Course: Civil Engineering

This graduation work is an analysis of the pilling of the Berth 301 of the Port of Itaguaí. The percussion drillings and the pile driving were analyzed. By these studies it was possible to generate surfaces and compare THEM with the results of the percussion drilling. Moreover, in the possession of the results of dynamics load tests, it was possible to compare them with the pile bearing capacity obtained with Aoki-Velloso's Method. Also, driving diagrams were made, which allow comparison between the pile driving and percussion drillings. Finally, the hammers used to drive the piles and the sets were analyzed.

**Keywords: Berth 301 pilling; Itaguaí Port; Driving diagrams; Dynamics Load Testing.**

# Sumário

1. Introdução.....	1
1.1. Considerações iniciais .....	1
1.2. Justificativa da escolha do tema .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3. Objetivo.....	3
1.4. Metodologia Aplicada .....	3
1.5. Estruturação do Trabalho .....	3
2. A obra.....	5
2.1. Localização .....	5
2.2. Importância do Porto de Itaguaí e do TECON.....	7
2.3. A obra do Berço 301 .....	9
3. Estudos Geotécnicos .....	12
3.1. Investigação Geotécnica .....	12
3.2. O Ensaio SPT.....	13
3.2.1. Objetivo do Ensaio .....	13
3.2.2 Procedimento Executivo .....	14
3.2.3 Critérios de Parada.....	16
3.2.4 Caracterização do Solo.....	16
3.2.5 Resultados dos Ensaios SPT .....	17
4. O Estaqueamento .....	19
4.1. Conceito .....	19
4.2. O Estaqueamento do Berço 301 .....	19
4.2.1 Considerações gerais .....	19
4.2.2 Martelos .....	21
4.2.3 Nega .....	25
4.2.4 Ensaios de Carregamento Dinâmico (ECD's).....	33
4.2.5 Análise da capacidade de carga da estaca.....	37
4.2.6. Diagramas de Cravação.....	44
5. Superfícies obtidas pelos boletins de cravação .....	55
5.1. Objetivo.....	55
5.2. Superfícies geradas .....	55



5.2.1 Terreno.....	55
5.2.2 Peso Próprio.....	59
5.2.3 Ponta.....	60
6. Conclusões .....	62
7. Apêndices.....	64
8. Referências Bibliográficas .....	65

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Tabela dos estados de compactidade e consistência .....	16
Tabela 2: Informações sobre cada estágio de cravação .....	29
Tabela 3: : Negas para estacas pré-moldadas de concreto .....	29
Tabela 4: Negas para estacas metálicas .....	29
Tabela 5: Valores das Negas (Trechos 1, 2 e 3) para estacas pré-moldadas .....	30
Tabela 6: : Valores das Negas (Trechos 4 e 5) para estacas pré-moldadas .....	31
Tabela 7: Resultado dos ensaios de carregamento dinâmicos .....	35
Tabela 8: Valores de $\alpha$ e K.....	37
Tabela 9: Valores de F1 e F2 .....	38
Tabela 10: Cálculo da capacidade de carga com base na sondagem SC-03 pelo Método Aoki-Velloso .....	40
Tabela 11: Comparação : ECD x Método Aoki-Velloso .....	43
Tabela 12: Diagrama de cravação : Estaca 39 – T4 x Sondagem SP – 203 .....	47
Tabela 13: Diagrama de cravação : Estaca 34 – T5 x Sondagem SP – 203 .....	48
Tabela 14: Diagrama de cravação : Estaca 44 – T1 x Sondagem SC – 01A .....	51
Tabela 15: Diagrama de cravação : Estaca 45 – T1 x Sondagem SC – 01A .....	52

## Lista de Gráficos

Gráfico 1: Movimentação de cargas no Porto de Itaguaí de 2006 a 2011 .....	8
--	---

# Lista de Figuras

Figura 1: Raio de localização do Porto de Itaguaí .....	5
Figura 2: Malhas de acesso terrestre ao Porto de Itaguaí.....	6
Figura 3: Vista da Estaca 2 (1200mm), à direita, ao lado da Estaca 2A (800mm), no trecho 1 .....	9
Figura 4: Vista de um dos Dofins recém executado com o cabeço de amarração chumbado .....	10
Figura 5: Trilho instalado para movimentação de guindaste .....	11
Figura 6: Estacas sendo executadas para construção de ponte de acesso .....	12
Figura 7: Desenho Esquemático do equipamento de execução do SPT .....	15
Figura 8: Arranjo geral do cais .....	17
Figura 9: Vista das estacas do Berço 301 .....	20
Figura 10: Ponteira metálica utilizada na cravação de estacas mistas .....	21
Figura 11: Sistemas de cravação com martelo à queda livre e martelo automático .....	22
Figura 12: Figura esquemática de martelo à diesel.....	23
Figura 13: Martelo PILECO D62-22 .....	24
Figura 14: Martelo BRUCE SGH-1415.....	25
Figura 15: Operário riscando a estaca após medir a penetração após 10 golpes .....	26
Figura 16: Desenho esquemático de obtenção da nega e repique.....	27
Figura 17: Execução de Ensaio de Carregamento Dinâmico.....	33
Figura 18: Vista do acelerômetro e transdutor de deformação no fuste da estaca.....	34
Figura 19: Resultado da Sondagem SP – 203 .....	46
Figura 20: Resultado da Sondagem SC – 01A.....	50
Figura 21: Arranjo Geral do Berço 301 .....	55

Figura 22: Corte B - B .....	55
Figura 23: Superfície do terreno gerado através de software .....	56
Figura 24: Superfície gerada devido ao peso próprio através de software .....	58
Figura 25: Superfície gerada através de software para cotas de ponta das estacas.....	59

## Lista de Abreviaturas e Siglas

**ABNT:** Associação Brasileira de Normas Técnicas.

**CSN:** Companhia Siderúrgica Nacional

**ECD:** Ensaio de Carregamento Dinâmico

**NBR:** Norma Brasileira.

**PIB:** Produto Interno Bruto

**PDA:** Pile Driving Analyzer

**SPT:** Standard Penetration Test

**TECON:** Terminal de Contêineres

**TEU:** Twenty Feet Equivalent Unit

# 1. Introdução

## 1.1. Considerações iniciais

Como se pode identificar em todos os setores da construção civil, seja ele relacionado à execução de edifícios, casas populares, obras de infraestrutura como rodovias, portos, pontes, dentre outros, um problema bastante comum à todas essas obras são as possíveis falhas nas investigações geotécnicas. A má execução pode ser devida a alguns motivos, seja ela por parte do contratado ou por parte do contratante.

O contratado – e algumas vezes também seu projetista – peca corriqueiramente no que se refere à programação de investigações geotécnicas (tipo, quantidade e distribuição). Para Ensaio SPT, o número mínimo de furos é estabelecido pela NBR 8036:1983, e recomenda, por exemplo, uma sondagem a cada 200m<sup>2</sup> de área da projeção em planta do edifício quando este possui até 1200m<sup>2</sup>. Outras faixas são estabelecidas, ainda, pela mesma norma. Além disto, a profundidade do furo deve ser indicada pelo cliente, e esta, é função do tipo de construção, das características da estrutura, de suas dimensões em planta, dentre outros fatores. Assim, outra determinação, pela NBR 8036:1983, é levar as sondagens até certa profundidade onde o solo não seja mais significativamente solicitado pelas cargas estruturais. Ou seja, um pedido do cliente para realização de sondagens a profundidades inferiores, seja para economizar tempo ou dinheiro, pode trazer problemas futuros, principalmente quando há solos moles em profundidades não atingidas pela sondagem.

Já em alguns casos, o contratante é quem acaba executando erroneamente a investigação. No caso das sondagens com ensaio SPT, um possível motivo é o fato do executor das sondagens receber, em muitos casos, proporcionalmente aos comprimentos executados. Assim, este procura executar o maior número de sondagens em um menor espaço de tempo, o que acaba por prejudicar o procedimento executivo adequado. Outros fatores que podem afetar a qualidade das sondagens com Ensaio SPT são a influência do operador e a simplicidade executiva, o que torna o ensaio popular e acessível a empresas tecnicamente pouco capacitadas.

Assim, é de conhecimento geral a importância de um estudo geotécnico adequado do local a ser implantado um novo empreendimento, uma obra de arte especial, rodovias, ferrovias, dentre outras construções. E as sondagens à percussão, rotativas e manuais são as mais usuais em nosso país.

Através de uma investigação geotécnica bem executada, se tem uma previsão do estaqueamento mais bem sucedida e ocorrência de problemas futuros e no decorrer da obra ocorrem com menor frequência.



## 1.2. Objetivo

O objetivo do estudo é avaliar o estaqueamento da obra em questão, buscando aplicar ao projeto e ao acompanhamento de obras a investigação geotécnica disponível de maneira eficiente. Além disto, é importante avaliar como forma de controle de qualidade, o estaqueamento através dos boletins de cravação das estacas, comparando-os com o Ensaio SPT. Outro estudo a ser realizado é elaboração de superfícies (em 2D e 3D) do terreno, das cotas de ponta das estacas e das cotas atingidas com o peso próprio da estaca e com a cravação, dados estes oriundos dos boletins de cravação. Ainda, serão analisados os critérios de nega e os ensaios dinâmicos realizados.

## 1.3. Metodologia Aplicada

Para elaboração do trabalho, foram realizadas pesquisas em livros, normas, manuais técnicos, apostilas, sites de internet, contato pessoal com professores do departamento de Geotecnia da UFRJ e visita técnica ao local de execução da obra. O estudo de caso foi elaborado a partir de dados da empresa CivilPort Engenharia Ltda responsável pela execução das obras do Berço 301 do TECON do Porto de Itaguaí, e da empresa projetista Beton Stahl Engenharia LTDA.

## 1.4. Estrutura do Trabalho

Neste trabalho, a análise do estaqueamento do Berço 301 – Terminal de Contêiner do Porto de Itaguaí – Rio de Janeiro foi o grande foco. Segue-se a este capítulo:

Capítulo 2 – A Obra: apresenta a localização da obra, contextualizando a importância do local no qual a obra é executada em termos econômicos, apresentando dados e gráficos informativos do Porto de Itaguaí e do TECON. Cita-se, ainda, os serviços executados no Berço 301.

Capítulo 3 – Estudos Geotécnicos: abordagem da importância e objetivo da investigação geotécnica, do Ensaio SPT, citando seus objetivos e procedimento executivo, os resultados do SPT e descrição do perfil geotécnico do Berço 301.

Capítulo 4 – O Estaqueamento: neste capítulo são apresentados os martelos utilizados na cravação das estacas da obra, as negas previstas e medidas, os resultados obtidos através dos Ensaios de Carregamento Dinâmico comparando-os com os valores estimados através do Método Aoki-Velloso, além de um comparativo entre os boletins de cravação das estacas e as Sondagens SPT através de diagramas de cravação.

Capítulo 5 – Superfícies obtidas pelos boletins de cravação: são apresentadas neste capítulo as superfícies obtidas através das cotas apresentadas nos boletins de cravação das estacas (relativa à cota do terreno, devido ao peso próprio da estaca e de ponta da estaca).

Capítulo 6 – Conclusão: são apresentadas as conclusões e as sugestões para futuras pesquisas.

## 2. A obra

### 2.1. Localização e acesso

O TECON de Itaguaí está localizado no Porto de Itaguaí – litoral do Sul do estado do RJ - (chamado de Porto de Sepetiba até 25 de Novembro de 2005), na Baía de Sepetiba - RJ, a cerca de 80 km do centro do município do Rio de Janeiro e a 440 km do centro do município de São Paulo. A sua localização foi escolhida estrategicamente visto que está instalado dentro de um raio de 500 km de cidades que abrangem cerca de 60% do PIB Brasileiro e em um local o qual não é aflingido por grandes centros urbanos, conforme observa-se na figura 1. Além disso, possui como grande vantagem, segundo a Companhia Siderúrgica Nacional, estar localizado em uma região de águas profundas o que permite a aproximação, sem maiores problemas, de grandes navios cargueiros.



Figura 1 – Raio de localização do Porto de Itaguaí (Companhia Siderúrgica Nacional)

O acesso ao TECON de Itaguaí se dá basicamente por meios rodoviário e ferroviário (ver figura 2). A opção rodoviária mais usual é a utilização da Rodovia Governador Mário Covas, mais conhecida como Rodovia Rio-Santos (BR-101). Dentro de meses, o Arco Metropolitano, que ligará Manilha a Itaboraí, com extensão prevista de 146 quilômetros e passará por oito municípios, estará concluído e será uma excelente forma de acesso ao Terminal de Contêineres de Itaguaí. Deve-se ressaltar ainda, a presença da Malha Regional Sudeste da Rede Ferroviária Federal, a qual liga diversas cidades do Brasil dentre as de maiores destaque econômico estão Belo Horizonte, São Paulo, São José dos Campos e Volta Redonda. E, ainda, interliga, também, os Portos de Guaíba, Itaguaí, Rio de Janeiro e Santos.



Figura 2 – Malhas de acesso terrestre ao Porto de Itaguaí (Docas do Rio – Autoridade Portuária)

## 2.2. Importância do Porto de Itaguaí e do TECON

Ao analisar os dados deste porto percebe-se o tamanho e importância do mesmo para a economia brasileira e, principalmente, para o Estado do Rio de Janeiro. Por estar localizado em uma região bem estratégica, conforme mencionado anteriormente, pode-se observar números grandiosos em torno do Porto de Itaguaí. Como informações iniciais (CDRJ e MDIC, 2012) destacam-se:

- Área operacional: 1,8 milhão de m<sup>2</sup>;
- Movimentação de carga: 57,4 milhões de toneladas;
- Movimentação de contêineres: 316.294 contêineres;
- Movimentação total em dinheiro: US\$ 23,4 bi;
- Capacidade do TECON: 400 mil TEU's (antes da ampliação) / 900 mil TEU's (após a ampliação);
- Número de funcionários: 12,5 mil.

No Gráfico 1, na próxima página, observa-se a movimentação de cargas, em toneladas, no Porto de Itaguaí, no período entre 2006 e 2011.

O Porto de Itaguaí tem como objetivo se tornar o primeiro Porto Concentrador de Cargas (Hub Port) do Atlântico Sul. Sua importância vai além da grande capacidade de exportar e

importar mercadorias, gerando diversos empregos de forma direta e indiretamente em toda região ao seu redor e, ainda, atraindo diversas indústrias a se concentrarem perto dele.

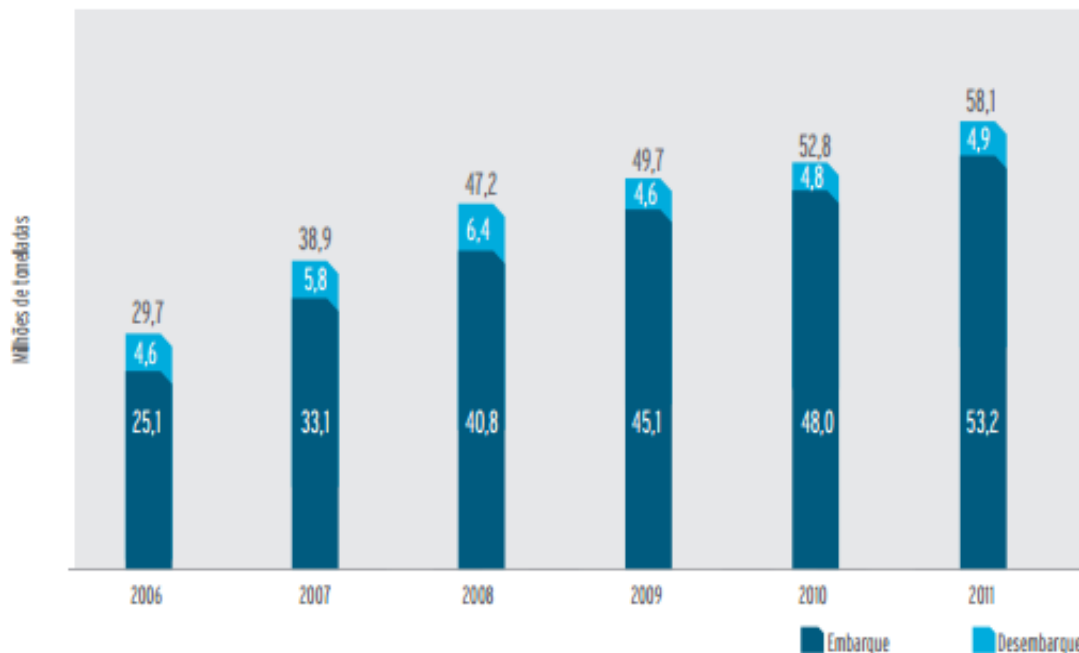


Gráfico 1 – Movimentação de cargas no Porto de Itaguaí de 2006 a 2011 (Confederação Nacional de Transporte)

O Terminal de Contêineres de Itaguaí, administrado pela Sepetiba TECON S/A, possui, segundo o diretor comercial da administradora, Marcelo Procópio, uma capacidade atual de 400 mil TEU's ( 1 TEU = 1 Contêiner de 20 pés de comprimento x 8 pés de largura x 8 pés de altura).

Ainda, segundo o diretor, o investimento esperado ao fim de todas as intervenções no Terminal de Contêineres, é da ordem de 130 milhões de dólares em equipamentos e obras de adequação de seu cais acostável, como por exemplo, dragagem do canal de acesso passando a profundidade de 14,5 para 15,5 metros e expansão do cais contínuo.

## 2.3. A obra do Berço 301

Com o objetivo de aumentar em 500 mil TEU's a sua capacidade operacional, a Sepetiba TECON S/A, uma associação da Companhia Siderúrgica Nacional – CSN , optou por investir um valor estimado, pela própria companhia, em 63 milhões de dólares, sendo 38 milhões no cais e 25 milhões em equipamentos, na ampliação do Terminal de Contêineres, com a equalização do Berço 301.

Para isso, um cais de 270m x 22m foi executado a fim de atender a logística necessária para tal ampliação. Diante de tais dimensões, foram executadas 220 estacas, sendo uma parte destas metálicas (105), pré-moldadas de concreto (83) e de concreto com ponteira metálica (32). Em relação ao diâmetro das estacas , oito possuem 1200 mm de diâmetro e as demais são de 800mm.

A seguir uma foto tirada com vista para as estacas de 1200mm e 800mm de diâmetro executadas no cais.



Figura 3 – Vista da Estaca 2 (1200mm), à direita, ao lado da Estaca 2A (800mm), no trecho 1

A obra possui um total de 9 dolphins , sendo 5 existentes antes da equalização e que foram incorporados no Berço e mais 4 executados na obra. A infraestrutura dos dolphins corresponde à execução de 36 estacas. Abaixo, uma foto tirada de um dolphin recém-executado.



Figura 4 – Vista de um dos dolphins recém-executado com o cabeço de amarração chumbado

O início da equalização foi em Fevereiro de 2012 e com um efetivo médio de 350 funcionários, segundo a Encarregada Administrativa, Bianca, da Civilport. Ainda segundo ela, a obra entra atualmente na sua fase final de execução, com término previsto para Março de 2014. Após a cravação das estacas, com três modelos de bate-estacas distintos, conforme serão abordados mais à frente, a laje foi executada no seu primeiro estágio com pré-lajes, as quais chegavam até a 18 metros de comprimento.

Com a finalidade de proteção dos cascos dos navios no momento em que os mesmos atracam no píer, defensas serão instaladas em paramentos, que segundo o Dicionário Informal, consiste na



face vertical de um cais ou píer, onde são colocadas as defensas para a atracação de embarcações e navios.

Sobre a laje, conforme figura 5, trilhos são instalados nas laterais, possibilitando a movimentação do guindaste responsável pela movimentação dos contêineres.



Figura 5 – Trilho instalado para movimentação de guindaste

Para realizar o acesso ao Berço 301, uma ponte com extensão de 28,80 metros está sendo construída sobre 6 estacas, sendo 4 inclinadas e 2 verticais. Este será uma segunda forma de acesso visto que outra já existe pelo Berço 302. Na figura 6, uma foto tirada das referidas estacas da ponte de acesso.

As informações a respeito da execução da obra foram fornecidas, em visita técnica, pelo Engenheiro Civil Emmer Milagres.



Figura 6 – Estacas sendo executadas para construção de ponte de acesso

### 3. Estudos Geotécnicos

#### 3.1. Investigação Geotécnica

Com a finalidade de se realizar um estudo geotécnico do local foram realizadas diversas sondagens ao longo do Berço 301 do TECON de Itaguaí, sendo alguma destas, mais superficiais e já outras, mais profundas, conforme se observa no perfil no Apêndice 1. A realização destes estudos é essencial e representa normalmente, segundo o professor Fernando Danziger (COPPE – UFRJ), um custo muito baixo quando comparado com o orçamento total da obra. Segundo o mesmo, a má execução pode causar grandes prejuízos na obra, seja este em termos de garantia da segurança da obra ou atrasos no cronograma devido à necessidade de adaptações no projeto.

Pela NBR 6497:1983, o levantamento consiste em um conjunto de todos os estudos de “Geologia de Engenharia”, “Engenharia de Solos” e “Engenharia de Rochas”, destinada à

obtenção das informações necessárias ao projeto, referentes aos maciços geológicos interessados direta e/ou indiretamente na obra. Segundo a referida norma, a classificação dos materiais estudados, bem como a execução dos serviços envolvidos e, ainda, a apresentação dos resultados deve obedecer sempre às prescrições das normas brasileiras específicas.

Segundo Schnaid (2009), as técnicas atuais de ensaio de campo mais empregadas são: Sondagem à Percussão (SPT), Dilatômetro de Marchetti (DMT), Ensaio de Penetração de Cone Estático (CPT), Ensaio de Palheta (“*Vane Test*”) e Pressiômetro de Menard (PMT).

Na obra do Berço 301 do TECON de Itaguaí foi adotado o Ensaio SPT como forma de realizar o estudo geotécnico da região.

Na obra, houve execução do Ensaio de Palheta (“*Vane Test*”), porém este não se aplica ao estudo em questão, mas sim, a estudos de estabilidade.

## 3.2. O Ensaio SPT

### 3.2.1. Objetivo do Ensaio

Pela NBR 6484:2001 - Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT, as finalidades da execução de sondagens SPT (*Standard Penetration Test*), na Engenharia Civil, são: determinação do tipo de solo em suas respectivas profundidades de ocorrência, a posição do nível d’água e obter o índice de resistência à penetração (N) a cada metro.

Por norma, o índice N se dá pelo número de golpes correspondente à cravação de 30 cm do amostrador padrão, após cravação inicial de 15cm.

### 3.2.2 Procedimento Executivo

Segue abaixo um resumo do procedimento executivo do ensaio SPT, descrito em norma, e um desenho esquemático (fig. 7) do procedimento:

- A sondagem inicia-se com emprego do trado-concha ou cavadeira manual até a profundidade de 1 metro. Nas operações posteriores para escavação utiliza-se trado helicoidal até atingir o nível d'água freático;

Obs: Na etapa de avanço com trado-concha deve-se recolher uma amostra significativa do solo para realização da análise do solo;

- Quando a operação de avanço com trado for pequena (inferior a 50 mm após 10 minutos), emprega-se o método de perfuração por circulação de água (chamado de lavagem). Esta operação faz uso do trépano de lavagem como ferramenta de escavação;
- Após posicionamento do amostrador-padrão, conectado à composição de cravação, coloca-se a cabeça de bater e utilizando um tubo de revestimento como referência marca-se um segmento de 45 cm dividindo-o em três trechos de 15 cm;
- Em seguida, o martelo, que possui uma massa de 65 kg, deve ser apoiado com cuidado sobre a cabeça de bater, anotando uma eventual penetração. Sendo esta menor que 45 cm prossegue-se a cravação com o amostrador-padrão até completar os referidos 45 cm;
- O martelo deve cair sob efeito da gravidade de uma altura de 75 cm, e, assim anota-se a quantidade de golpes necessários para avançar separadamente cada trecho de 15cm;

- Quando a cravação atingir 45 cm, o índice de resistência à penetração é expresso como a soma do número de golpes requeridos para avançar as duas últimas etapas de penetração de 15 cm;

Obs: Ao atingir os 45 cm, insere-se novamente o trado para avançar furo até a profundidade do próximo ensaio de percussão ou utilização do trépano de lavagem após encontrar o nível do lençol freático, por Norma, até o próximo valor múltiplo de um metro.

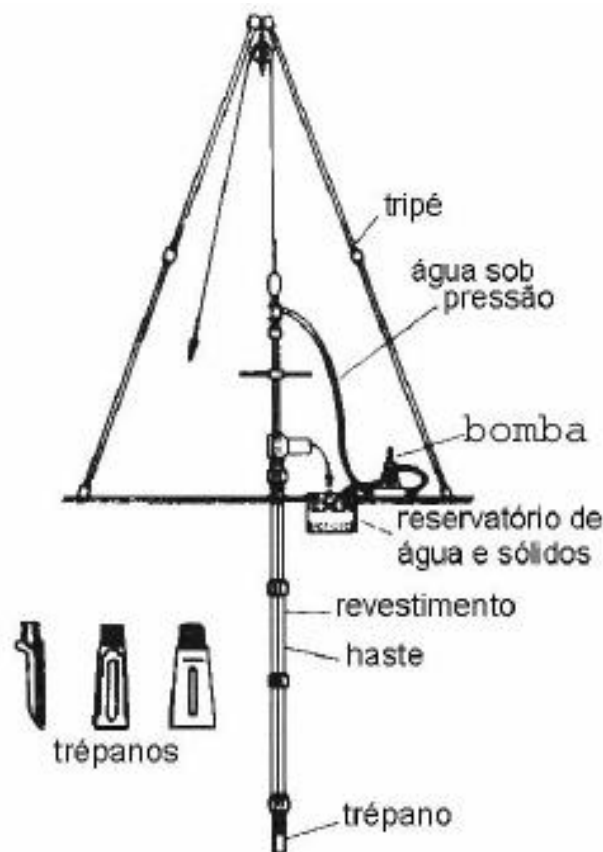


Figura 7 – Desenho Esquemático do equipamento de execução do SPT (Conceitos Introdutórios de Mecânica dos Solos – UFBA)

### 3.2.3 Critérios de Parada

Pelo item 6.4.1 da NBR 6484:2001, seguem os critérios de parada do processo de perfuração por circulação de água:

- a) quando, em 3 m sucessivos, se obtiver 30 golpes para penetração dos 15 cm iniciais do amostrador-padrão;
- b) quando, em 4 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para penetração dos 30 cm iniciais do amostrador-padrão;
- c) quando, em 5 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para a penetração dos 45 cm do amostrador-padrão.

### 3.2.4 Caracterização do Solo

A seguir, segue a correlação presente na norma, relacionando índice de resistência à penetração (N) com o tipo e a designação do solo:

Solo	Índice de resistência à penetração N	Designação <sup>1)</sup>
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco compacta(o)
	9 a 18	Medianamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	> 40	Muito compacta(o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	> 19	Dura (o)
<sup>1)</sup> As expressões empregadas para a classificação da compactidade das areias (fofa, compacta, etc.), referem-se à deformabilidade e resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não devem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos Solos.		

Tabela 1 - Tabela dos estados de compactidade e consistência (NBR6484:2001)

### 3.2.5 Resultados dos Ensaio SPT

Foram realizadas duas campanhas de sondagens, uma em 1999 pela firma Geotécnica na sua fase de projeto, e outra em 2012 pela firma Geologus na fase de obra. O perfil geotécnico do local é apresentado no Apêndice 1.

A seguir, observa-se um croqui com o arranjo geral do cais do Berço 301 e comentam-se as características do solo por trecho.

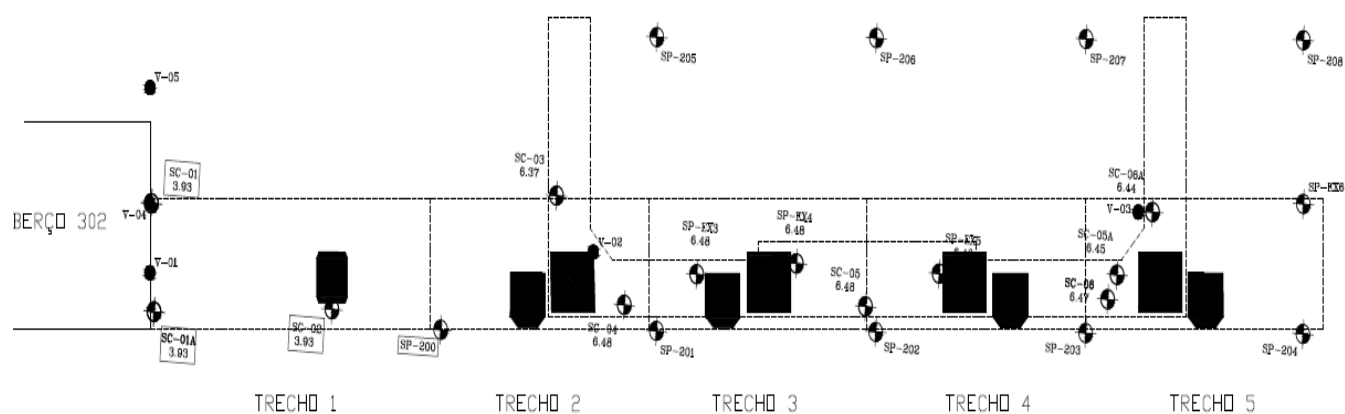


Figura 8 – Arranjo Geral do Cais com trechos (Fonte: CivilPort / Beton Stahl)

Trecho 1 : Os metros iniciais apresentam um solo arenoso e argiloso com índice de resistência à penetração médio de 3 a 6. Em sua camada final, apresenta um solo residual jovem de gnaiss com boa resistência, com valor variando entre 30 e 40, em sua grande maioria.

Trecho 2 : Apresenta, inicialmente, uma camada de solo argiloso, procedido de uma camada arenosa, tendo ambas as camadas apresentado um  $N_{spt}$  na ordem de 3 a 9. Após estas camadas verifica-se uma camada de solo residual jovem sendo os três primeiros metros derivados da

rocha granítica aplito (segundo NBR 6502:1995, consiste em o nome dado à rocha de composição granítica e de textura fina, ocorrendo sempre em forma de dique), com um baixo índice de penetração – em torno de 7 - e após um solo residual, proveniente do gnaiss, apresentando um índice de penetração bem mais elevado – ordem de 30. O critério de parada foi atingido na cota -27,00.

Trecho 3 : Apesar das sondagens terem sido realizadas bem próximas às sondagens do trecho 2, os valores de resistência à penetração foram bem mais elevados. Apesar de uma camada inicial de uma argila silto-arenosa (dois primeiros metros) com baixo  $N_{spt}$ , apresentou desde as camadas seguintes (solo arenoso e, depois, silte argilo-arenoso) índices que variam, majoritariamente, entre 20 e 40. Atingiu critérios de parada na cota -26,00.

Trecho 4 : Verifica-se características do solo bem similares ao apresentados pelo trecho 3, com solos com bom índice de resistência desde os primeiros metros, não apresentando valores menores que 11 em nenhum momento.

Trecho 5 : Segue os trechos 3 e 4, apresentando solos que atingiram critérios de parada em suas profundidades de investigação final e verificou-se, assim como no trecho anterior, uma primeira camada de resistência considerável.



## 4. O Estaqueamento

### 4.1. Conceito

O projeto do estaqueamento, segundo o Professor Antonio Alves (FURG), em seu material “Projeto de Fundações”, diz que o projeto em estacas deve ser subdividido em duas etapas:

- Concepção ou “lançamento”, o qual é baseado na experiência do projetista e dimensões usuais;
- Cálculo do estaqueamento, onde serão determinados os esforços que atuarão em cada estaca.

Ainda segundo o mesmo, o estaqueamento é um conjunto de estacas (verticais e/ou inclinadas) solidarizadas por um bloco de coroamento, dispostas de forma a equilibrar os esforços aplicados pelo(s) pilar (es).

### 4.2. O Estaqueamento do Berço 301

#### 4.2.1 Considerações gerais

Algumas características principais do estaqueamento são explicitadas a seguir:

- No estaqueamento do Berço 301 do TECON de Itaguaí foram executadas tanto estacas verticais quanto estacas inclinadas. Todas as estacas inclinadas se encontram no Trecho 1. A inclinação das referidas estacas é de 1:4 e são metálicas;
- A cravação das estacas foi realizada com dois tipos de martelo (que serão estudados mais detalhadamente a seguir): Bruce SGH1415 e PILECO D62-22;

- O estaqueamento, em sua grande maioria, é paralelo. Apenas algumas estacas fogem à regra.
- Todas as estacas estão submetidas, somente, a esforços de compressão. As duas únicas estacas que estão sujeitas tanto a cargas de tração e compressão são as estacas 27 e 28 do Trecho 1, porém, com valores bem reduzidos;
- As cargas de serviço consideradas para as estacas com 800 mm de diâmetro foi de 3400 kN. Já para as estacas com  $\Phi = 1200$  mm, a carga de serviço prevista é de 5500 kN;
- A Estaca 30 do Trecho 1 quebrou durante o processo de cravação.

Abaixo, uma foto do cais do berço 301, com seu tabuleiro em fase final de execução e, na figura 10, vista da ponteira metálica utilizada na cravação de estacas mistas.



Figura 9 – Vista das estacas do Berço 301



Figura 10 - Ponteira metálica utilizada na cravação de estacas mistas (Gomes, R.M., 2013)

A planta com o arranjo geral, trecho por trecho, do estaqueamento do Berço 301 pode ser visualizada no Apêndice 2.

#### 4.2.2 Martelos

A forma de cravação das estacas do Berço escolhida foi à percussão. Segundo Velloso e Lopes (2010), a cravação à percussão é feita por um bate-estaca no qual atua um martelo ou um pilão. Os bate-estacas tradicionais são constituídos por uma plataforma sobre rolos, com uma torre e um guincho, conforme observa-se na figura 11.

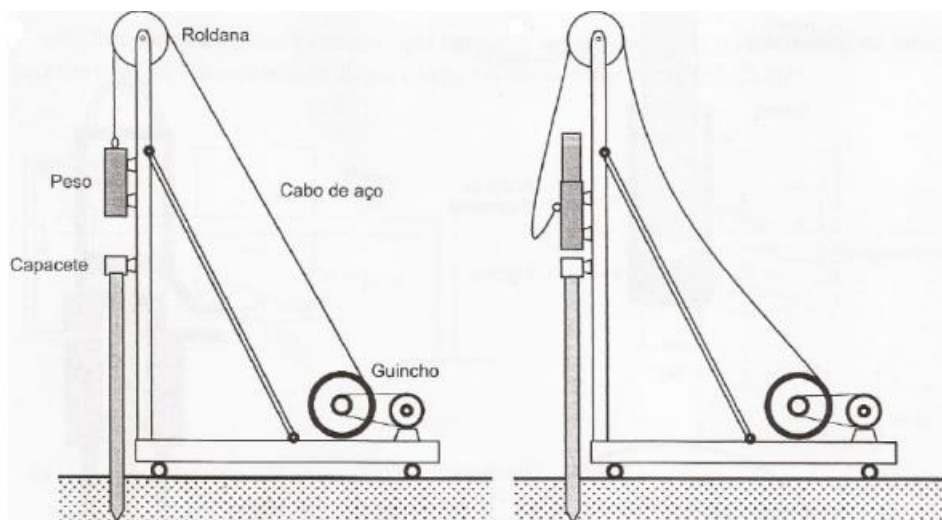


Figura 11 – Sistemas de cravação com martelo à queda livre (esq.) e martelo automático (dir.) (Velloso e Lopes, 2010)

Segundo Velloso e Lopes (2010), há dois tipos principais de martelos: de queda livre e automático. Na execução destas estacas foram utilizados os automáticos, onde o peso é levantado pela explosão de óleo diesel (martelo diesel) ou pela ação de um fluido, que pode ser vapor, ar comprimido ou óleo (martelo hidráulico).

Os martelos estudados para utilização na cravação das estacas foram:

- PILECO D62-22;
- PILECO D46-32;
- BRUCE SGH – 1415.

Porém, somente os martelos D62 e BRUCE foram utilizados na cravação das estacas já que o martelo D46 não crava estacas com eficiência, visto que as negas seriam muito apertadas, o que poderia acarretar em danos ao martelo. A seguir são apresentados os dois martelos utilizados na obra.

### a) Martelo PILECO D62-22

Utilizado na cravação de estacas metálicas, neste martelo a diesel, a massa cadente é um pistão, como em um motor à explosão, conforme observado na figura 12. Após a explosão, quando o pistão atinge certa altura, os gases são liberados para a atmosfera e o pistão cai novamente. Segundo o catálogo, fornecido pelo fabricante (Bauer PILECO), o pistão possui uma massa de 6200 kg. Já o martelo, em situação de operação, possui uma massa de 13.290 kg.

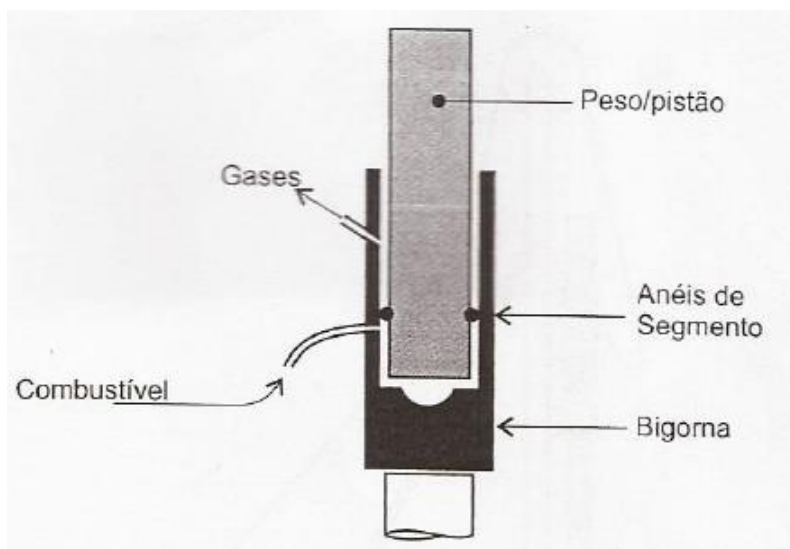


Figura 12 – Figura esquemática de martelo a diesel (Velloso e Lopes , 2010)

O Martelo do tipo D62-22 possui uma capacidade de produzir de 35 a 50 golpes por minuto e produz uma energia por golpe que varia entre 107.4 a 219.2 kN.m.

A seguir, a figura 13 ilustra o martelo utilizado no canteiro do Terminal de Contêineres durante visita técnica à obra.





Figura 13 – Martelo PILECO D62-22

#### b) Martelo BRUCE SGH – 1415

Segundo Velloso e Lopes (2010), frequentemente, em obras portuárias e *offshore*, são empregados martelos hidráulicos que podem trabalhar submersos e que prosseguem na cravação de uma estaca no trecho de lâmina d'água. Logo, evidencia-se esta vantagem o BRUCE SGH-1415.

Segundo o catálogo da BRUCE Pilling Equipment, o pilão possui 14 toneladas, o qual gera uma energia potencial máxima de 210 kN.m. O martelo possui uma massa de 23600 kg sem o peso do *capacete*, o qual é muito utilizado neste tipos de obras, onde este “veste” a estaca na sua parte superior e acomoda o martelo na sua parte inferior. Esta espécie de *capacete* possui uma massa de 1500 kg.

Este tipo de bate-estacas foi utilizado na cravação de estacas pré-moldadas de concreto armado (com e sem ponteira metálica).

A seguir, podemos observar uma foto do martelo no canteiro de obras.



Figura 14 – Martelo BRUCE SGH-1415

### 4.2.3 Nega

#### a) Conceito e cálculo

Segundo a NBR 6122:2010, nega é a medida de penetração permanente de uma estaca, causada pela aplicação de um golpe de martelo ou pilão, sempre relacionada com a energia de cravação.

Dada sua pequena grandeza, em geral é medida para uma série de dez golpes.

Segundo a BENATON Fundações, em sua publicação “*Deslocamento Permanente x Capacidade de Carga*”: “Mesmo a capacidade de carga sendo avaliada em projeto, utilizando-se Métodos Estáticos Empíricos, o controle da capacidade de carga em estacas é tradicionalmente efetuado através da recusa à penetração da estaca no solo associada a uma determinada energia de cravação (nega)”.

Como forma de observar a resposta à cravação das estacas, por Velloso e Lopes (2010), esta pode ser realizada de diferentes maneiras, envolvendo graus de sofisticação bem distintos. Assim, a forma mais prática consiste em riscar a lápis uma linha horizontal na estaca, com uma régua apoiada na torre do bate-estacas, aplicar 10 golpes, riscar novamente e medir a distância entre dois riscos, conforme pode ser observado na figura 15.



Figura 15 – Operário riscando a estaca após medir a penetração após 10 golpes (Geotecnia de Fundações – Marangon)

Outra maneira bem simples de determinar a nega, também é indicada por Velloso e Lopes (2010). Consiste em prender uma folha de papel no fuste da estaca e, no momento de aplicação



do golpe de cravação, passar um lápis na horizontal com ajuda de uma régua apoiada em pontos fora da estaca. Assim, o lápis desenhará no papel o movimento da estaca ao levar o golpe. Com esse registro, pode-se determinar a nega e o repique da estaca (pela NBR 6122:2010, repique é definido como a parcela elástica do deslocamento máximo de uma estaca decorrente da aplicação de um golpe do martelo ou pilão). Na figura 16, observa-se um desenho esquemático deste modo de obtenção da nega e repique.

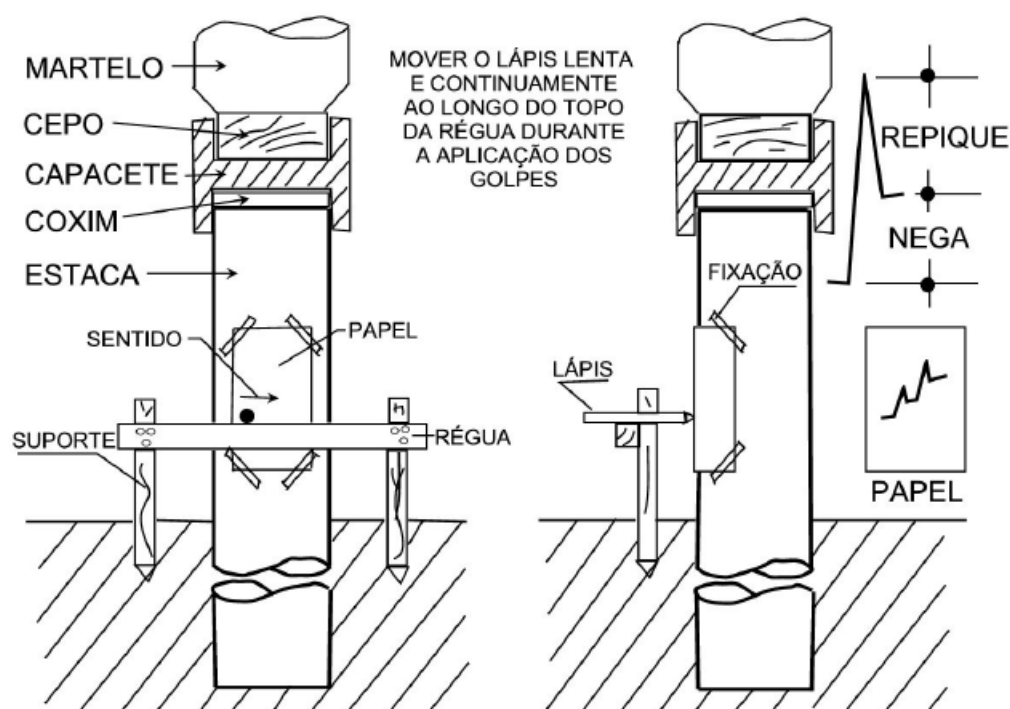


Figura 16 – Desenho esquemático de obtenção da nega e repique (Aoki ,1986)

Há ainda um procedimento mais sofisticado o qual consiste na *monitoração da cravação* com instrumentos eletrônicos, que registrarão velocidades/deslocamentos e forças no topo da estaca ao longo do tempo. Utiliza-se de acelerômetros e de extensômetros como forma de obter tais informações. (Velloso e Lopes, 2010)

## b) Negas das estacas do Berço 301

Para as estacas pré-moldadas de concreto, a altura de queda do pistão correspondente à nega foi obtida diretamente através dos boletins de cravação das estacas. Já para as estacas metálicas, que foram cravadas com o martelo à Diesel Pileco D62-22, a altura de queda deste martelo pode ser calculada a partir da energia, que varia entre 107.4 a 219.2 kN.m; assim, considerando o peso do pistão de 62 kN, temos uma altura de queda que varia entre 1,73m a 3,54m. Conforme o Manual de Operação da Pileco (2012) pode-se obter no campo uma altura média de queda pela medição do número de golpes (por minuto) – o martelo possui capacidade de executar de 35 a 50 golpes/min. A fórmula que segue abaixo para tal conversão é aplicável somente a estacas verticais e correlaciona o número de golpes (por minuto) com a altura de queda.

$$\text{Altura de queda (m)} = 4415 / (\text{n}^\circ \text{ de golpes})^2 \quad (\text{fórmula 4.1})$$

Nos boletins de cravação das estacas metálicas observa-se indicado, no campo referente à altura de queda, qual estágio de cravação se encontra o martelo. Conforme explicado no mesmo manual de operações, estes referidos estágios estão relacionados ao controle de fornecimento de combustível ao martelo, ou seja, à energia de cravação em que a estaca é submetida (a energia de cravação é aproximadamente proporcional à injeção de combustível). Na tabela 2, pode-se observar ao que se refere cada estágio de cravação.

Type	Injection Quantity at setting 4 100% ±10%	Injection quantity (%) and blow energy* Nm (ft. lbs.)			
		setting 4 100%	setting 3 83...90%	setting 2 66...77%	setting 1 49...64%
D62-22	8.70 cm³/stroke	219,150 Nm 161,640 ft. lbs.	181,895 Nm 134,160 ft. lbs.	145,735 Nm 107,490 ft. lbs.	107,380 Nm 79,200 ft. lbs.

Tabela 2: Informações sobre cada estágio de cravação (Hammer Operations Manual – Bauer Pileco )

As negas previstas foram calculadas pela Fórmula Dinamarquesa, de Sorensen e Hansen (1957), utilizada para estacas metálicas e pré-moldadas. Segue o cálculo de previsão das negas.

$$R_u = ( \eta \times H \times G ) / s , \text{ (Fórmula 4.2)}$$

Onde,

$R_u$  = Carga de Ruptura;

$\eta$  = Fator de eficiência do sistema de cravação;

$H$  = Altura de queda do martelo;

$G$  = Peso do martelo.

$$S_o = \sqrt{\frac{2 \times \eta \times H \times G \times L}{A \times E}} , \text{ (Fórmula 4.3)}$$

Onde:

$S_o$  = Recalque elástico do material da estaca;

$L$  = Comprimento da estaca;

$A$  = Área da seção transversal da estaca;

$E$  = Módulo de Elasticidade do material da estaca.

Com a resolução da Fórmula 4.2 (encontrando valor de  $s$ ) e da Fórmula 4.3 (encontrando o valor de  $S_o$ ), resolve-se a Fórmula 4.4:

$$S = S_1 + (S_o / 2), \text{ Fórmula 4.4}$$

Onde:

$S_1$  = Nega.

Com isso, as negas previstas para as estacas pré-moldadas cravadas com o martelo BRUCE são apresentadas na tabela 3.

Carga de serviço	Nega (mm/10 golpes)		
	h = 80cm	h = 100cm	h = 120cm
até 2500 kN	110	130	150
de 2500 a 3000 kN	75	95	115
de 3000 a 3400 kN	50	70	90

Tabela 3: Negas para estacas pré-moldadas de concreto

Já na tabela 4 são apresentadas as negas para as estacas metálicas cravadas com o martelo D62.

Peso do martelo (kN)	Carga de serviço	Nega (mm/10 golpes)	
		h = 2,0 m	h = 3,0 m
62	até 2500 kN	60	120
	de 2500 a 3000 kN	40	80
	de 3000 a 3400 kN	25	50

Tabela 4: Negas para estacas metálicas

Através de estudo de cravabilidade, pode-se constatar que o martelo D46 não cravaria as estacas com eficiência, o que poderia resultar em danos ao martelo. Assim, os resultados apresentados, para as estacas metálicas, anteriormente, são referentes ao martelo D62.

As tabelas 5 e 6 apresentam os valores das negas medidas para o martelo BRUCE.

Trecho	Estaca	Altura de queda (m)	Carga de serviço (kN)	Nega (mm/10 golpes)	Trecho	Estaca	Altura de queda (m)	Carga de serviço (kN)	Nega (mm/10 golpes)
1	E29	1,2	1900	79	2	E24	não há dados sobre nega		
	E30	Estaca quebrou				E25	0,8	2000	70
	E30A	0,6	não há dados	62		E26	0,8	2300	70
	E31	0,8	2300	5		E27	0,8	2500	80
	E32	0,8	2100	9		E27A	0,8	2500	80
	E33	0,8	1800	15		E28	0,8	2000	90
	E34	0,8	1700	9		E29	0,8	1800	91
	E35	0,8	2200	153		E30	0,8	1700	80
	E36	0,8	2500	110		E31	0,8	2800	60
	E37	0,8	2500	109		E31A	0,8	2800	61
	E38	0,8	1700	47		E32	0,8	2900	70
	E39	0,8	1800	57		E33	0,8	3200	49
	E40	0,8	2100	69		E34	0,8	3400	69
	E41	0,8	1900	73		E37	0,8	2900	64
	E44	1,2	2100	194		E38	0,8	2800	63
	E45	1,2	2500	12		E39	0,8	2700	60
	E46	1,2	2800	137	Trecho	Estaca	Altura de queda (m)	Carga de serviço (kN)	Nega (mm/10 golpes)
	E47	0,8	3100	8	3	E24	0,8	1700	80
	E48	0,8	3200	11		E25	0,8	1900	85
	E49	0,8	3300	140		E26	0,8	2100	77
	E50	0,8	3400	151		E26A	0,8	2200	65
	E51	0,8	3400	108		E27	0,8	2000	95
	E52	0,8	3300	122		E28	0,8	2100	58
	E53	0,8	3000	101		E29	0,8	2300	20
	E54	0,8	3000	92		E30	0,8	2400	28
	E55	0,8	3200	70		E31	0,8	2400	74
	E56	0,8	3300	43		E31A	0,8	2400	49
	E57	0,8	3300	75		E32	0,8	2700	69
	E58	0,8	2800	61		E33	0,8	2900	57
						E36	0,8	2900	47
						E37	0,8	3100	22
						E38	0,8	3000	24
				E39		0,8	2800	40	

Tabela 5: Valores das negas medidas (Trechos 1,2 e 3) para estacas pré-moldadas

Trecho	Estaca	Altura de queda (m)	Carga de serviço (kN)	Nega (mm/10 golpes)
4	E24	0,8	2400	44
	E25	0,8	2700	55
	E26	0,8	2400	75
	E27	0,8	1700	59
	E28	0,8	2200	72
	E28A	0,8	1900	58
	E29	0,8	2100	45
	E30	0,8	1800	85
	E31	0,8	2100	55
	E31A	0,8	1800	85
	E32	0,8	3100	45
	E33	0,8	3100	39
	E34	0,8	2800	50
	E35	0,8	2300	20
	E38	0,8	2500	48
	E39	0,8	2400	60

Trecho	Estaca	Altura de queda (m)	Carga de serviço (kN)	Nega (mm/10 golpes)
5	E5	0,8	2900	62
	E6	0,8	2900	61
	E7	0,8	2900	58
	E8	0,8	2900	34
	E9	0,8	2900	25
	E10	0,8	2700	60
	E11	0,8	2100	53
	E12	0,8	1600	58
	E17	0,8	2400	55
	E18	0,8	2600	72
	E19	0,8	2800	62
	E20	0,8	3000	40
	E21	0,8	3100	34
	E22	0,8	3000	20
	E23	0,8	2400	35
	E24	0,8	1900	35
	E25	0,8	2300	55
	E26	0,8	2300	97
	E27	0,8	1800	81
	E28	0,8	2400	17
	E28A	0,8	2100	20
	E29	0,8	2700	50
	E30	0,8	2700	41
	E31	0,8	2200	20
	E32	0,8	1900	66
	E33	0,8	2400	40
	E33A	0,8	2100	29
	E34	0,8	2800	65
	E35	0,8	2600	36
	E36	0,8	2200	55
	E37	0,8	2000	63
	E38	0,8	1800	60
	E39	0,8	3200	35
	E40	0,8	3100	40
	E41	0,8	2700	64
	E42	0,8	2300	57

Tabela 6: Valores das negas medidas (Trechos 4 e 5) para estacas pré-moldadas

#### 4.2.4 Ensaio de Carregamento Dinâmico (ECD's)

##### a) O Ensaio

Segundo a Revista *Téchne*, em sua edição número 95 de fevereiro de 2005, o ensaio é realizado no Brasil desde o início dos “anos 80”, sua utilização foi realizada, inicialmente, em plataformas de petróleo *offshore*, também é chamado de ensaio dinâmico ou prova de carga dinâmica e possui como objetivo principal determinar a capacidade de ruptura da interação estaca-solo para carregamentos estáticos axiais. Segundo a mesma revista, o Ensaio de Carregamento Dinâmico é menos oneroso quando comparado com o Ensaio de Carregamento .

De acordo com a *Téchne*, o carregamento é aplicado dinamicamente, como golpes de um sistema de percussão adequado. Os referidos golpes são aplicados por qualquer sistema capaz de liberar um peso em queda livre no prolongamento da estaca acima do solo. O pilão deverá ter um peso correspondente de 2 a 3% da carga de trabalho prevista para a estaca. Assim, é possível fixar nesta parte externa da estaca, em seu fuste, defôrmetros, para se conhecer o modo de transferência de carga e extensômetros, a fim de medir recalques e verificar se ocorre rotação do topo da estaca.

Estes sensores permanecem conectados a um equipamento eletrônico de análise de dados que faz registro das ondas. Através da Teoria de Equação da Onda esses dados são, posteriormente, interpretados.

Na figura 17, observa-se a execução de um Ensaio de Carregamento Dinâmico.



Figura 17 – Execução de Ensaio de Carregamento Dinâmico (Cordec do Brasil LTDA)

Segundo a Pile Dynamics, Inc (PDI), empresa pioneira na execução deste tipo de ensaio no Brasil, através destes dados obtidos, obtém-se diversas informações, dentre as principais se pode citar:

- Capacidade de carga mobilizada da estaca na ocasião do ensaio;
- Os valores máximos de tensões de compressão e de tração no material da estaca durante os golpes;



- O nível de flexão sofrido pela estaca durante o golpe;
- Informações sobre a integridade da estaca, com localização do eventual dano;
- Energia transferida para a estaca, permitindo estimar a eficiência da cravação;

Segundo a PDI, o ensaio de carregamento dinâmico apresenta algumas vantagens como, por exemplo: trata-se de um ensaio de execução rápida, com custo relativamente baixo e independente da carga que se vai medir. Apresenta também a vantagem da não necessidade de parada de equipamentos ao redor da estaca em teste, causando pouco transtorno à obra.

A seguir, uma vista do acelerômetro e do transdutor de deformação instalados no fuste da estaca.



Figura 18 – Vista do acelerômetro e transdutor de deformação instalados no fuste da estaca (PDI – Pile Dynamics, Inc.)

## b) Ensaio de Carregamento Dinâmico das estacas do Berço 301

Na tabela a seguir é mostrado um resumo indicando as cargas mobilizadas nas estacas durante o

ECD:

<b>Estaca</b>	<b>Martelo Cravação</b>	<b>Hqueda,máx (cm)</b>	<b>Capacidade Mobilizada(tf)</b>
E11 - T1	D62-22	360	590,0
E29 - T1	SGH1415	120	706,1
E30A - T1	SGH1415	80	549,6
E31 - T1	SGH1415	100	507,5
E32- T1	SGH1415	120	498,2
E33 - T 1	SGH1415	120	495,1
E35 - T1	SGH1415	120	489,1
E44 - T1	SGH1415	120	513,0
E45 - T1	SGH1415	120	710,0
E46-T1	SGH1415	120	507,8
E106 - T1	D62-22	327	390,0
E108 -T1	D62-22	340	548,4
E38 - T2	SGH1415	120	560,0
E101 - T2	D62-22	369	535,6
E33 - T3	SGH1415	150	636,3
E105 - T3	D62-22	357	617,5
E35 - T4	SGH1415	80	659,8
E102 - T4	D62-22	349	594,6
E23 - T5	SGH1415	100	658,2
E24 - T5	SGH1415	120	592,8
E28A - T5	SGH1415	80	888,1
E30 - T5	SGH1415	120	690,0
E32 - T5	SGH1415	120	842,0
E107 - T5	D62-22	326	629,0
E108 - T5	D62-22	328	408,5

Tabela 7 – Resultado dos Ensaios de Carregamento Dinâmico – Berço 301 (PDI Engenharia)

As siglas T1, T2, T3, T4 e T5 são referentes aos trechos em que se encontram as estacas.

#### 4.2.5 Análise da capacidade de carga da estaca

Com objetivo de verificar a confiabilidade dos resultados, será realizado um comparativo entre o resultado obtido da capacidade de carga mobilizada no Ensaio de Carregamento Dinâmico com o esperado através de métodos semi-empíricos que utilizam o SPT.

O método semi-empírico utilizado será o Método de Aoki-Velloso.

##### a) Método de Aoki – Velloso

Segundo Velloso e Lopes (2010), este método foi originalmente concebido a partir de correlações entre resultados de prova de carga estática em estacas e sondagens com Ensaio SPT.

O dimensionamento é realizado de forma que a capacidade de carga da estaca é obtida através do somatório entre a capacidade de carga de ponta mais a contribuição do atrito lateral.

A resistência de ponta unitária é dada por:

$$R_p = (K \cdot N) / F_1 \quad , \quad (\text{fórmula 4.6})$$

Onde:

N - número de golpes SPT da camada em que a estaca está apoiada;

K - é dado pela Tabela 8 (em kg/cm<sup>2</sup>)

F<sub>1</sub> - função do tipo de estaca, conforme apresentado na tabela 9;

<b>Tipo de solo</b>	<b><math>k</math> (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\alpha</math> (%)</b>
Areia	10	1,4
Areia siltosa	8	2
Areia siltoargilosa	7	2,4
Areia argilossiltosa	5	2,8
Areia argilosa	6	3
Silte arenoso	5,5	2,2
Silte arenoargiloso	4,5	2,8
Silte	4	3
Silte argiloarenoso	2,5	3
Silte argiloso	2,3	3,4
Argila arenosa	3,5	2,4
Argila arenossiltosa	3	2,8
Argila siltoarenosa	3,3	3
Argila siltosa	2,2	4
Argila	2	6

Tabela 8 - valores de  $\alpha$  e  $K$  (Velloso e Lopes, 2010)

Já para determinação da resistência total de ponta multiplica-se o valor unitário da resistência de ponta pela área da ponta da estaca, o que nos leva a seguinte expressão:

$$Q_p = A_p \cdot R_p \quad (\text{fórmula 4.7})$$

Em relação a resistência unitária por atrito lateral, esta é fornecida pela seguinte relação:

$$R_l = (\alpha \cdot K \cdot N)/F_2 \quad (\text{fórmula 4.8})$$

Onde:

$\alpha$ ,  $K$  - fatores que correlacionam os resultados do ensaio CPT com o SPT, conforme observado na Tabela 8;

$N$  - número de golpes SPT para cada camada de solo que a estaca está ultrapassando;

$F_2$  - fator de correlação, o qual depende do tipo de estaca, conforme tabela 9;

Tipo de estaca	Valores de	
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
Metálica e pré-moldada	1,75	3,5
Tipo Franki	2,50	5,0
Escavada	3,0	6,0

Tabela 9- Valores de F1 e F2 (Velloso e Lopes ,2010)

Assim, a resistência relativa ao atrito lateral é dada por:

$$R_{\text{ponta}} = (\text{Área Lateral}) \cdot R_l \quad (\text{fórmula 4.9})$$

Toda a descrição do Método de Aoki Velloso foi baseada em Velloso e Lopes (2010).

Os cálculos foram realizados considerando as sondagens realizadas mais próximas às estacas as quais foram realizadas ensaios de carregamento dinâmico.

## b) Valores obtidos por Aoki - Velloso

Foram calculados os valores de capacidade de carga previstos para todas as sondagens, que atingiram o impenetrável, executadas na obra. Na planilha a seguir estão explícitos os valores de carga mobilizada por atrito lateral e pela ponta da estaca.

Na tabela 10, apresenta-se a planilha para a sondagem SC-03, realizada no trecho 2 do berço 301, entre as estacas 6 e 7

No Apêndice 4, estão as planilhas relativas às outras sondagens executadas na obra.

Através da Tabela 10, é possível verificar o formato escolhido da planilha para o cálculo da capacidade de carga. Esta sondagem SC-03 não serviu de base para o cálculo da capacidade de carga de nenhuma estaca, visto que, a distância entre esta sondagem e as estacas nas quais foram realizados Ensaio de Carregamento Dinâmico era grande.

OBRA :	TECON Berço 301 - Porto De Itaguaí								
Estaca:	-					Sondagem:	SC-03		
Tipo de Estaca	F1	F2	Área (m²)	P = Perímetro (m)					
Metálica	1,75	3,5	0,50	2,51					
Profundidade	Nspt	Tipo de Solo	k(tf/m²)	α(%)	Qlateral (tf)		Qponta(tf)		Qult(tf)
					$\tau = (\alpha kN)/F2$	$P \cdot \sum \tau \Delta l$	$q = kN/F1$	$A \cdot q$	
1	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
2	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
3	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
4	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
5	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
6	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
7	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
8	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
9	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
10	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
11	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
12	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
13	6	Argila	20	6,0	2,1	5,2	38	19	24,32
14	4	Argila	20	6,0	1,4	8,6	50	25	33,51
15	3	Argila	20	6,0	1,0	11,2	38	19	30,35
16	3	Argila	20	6,0	1,0	13,8	38	19	32,94
17	4	Areia	100	1,4	1,6	17,8	171	86	103,98
18	2	Areia	100	1,4	0,8	19,8	229	115	134,71
19	6	Areia	100	1,4	2,4	25,9	286	144	169,47
20	7	Areia	100	1,4	2,8	32,9	419	211	243,52
21	9	Areia	100	1,4	3,6	41,9	438	220	262,15
22	7	Silte Orgânico	40	3,0	2,4	48,0	168	84	132,22
23	6	Silte Orgânico	40	3,0	2,1	53,1	160	80	133,56
24	8	Silte Orgânico	40	3,0	2,7	60,0	175	88	148,12
25	9	Silte-argiloso	23	3,4	2,0	65,1	166	84	148,77
26	21	Silte-argiloso	23	3,4	4,7	76,9	232	117	193,59
27	23	Silte-argiloso	23	3,4	5,1	89,8	311	156	246,14
28	27	Silte-argiloso	23	3,4	6,0	105,0	337	170	274,52
29	27	Silte-argiloso	23	3,4	6,0	120,1	333	167	287,48
30	22	Silte-argiloso	23	3,4	4,9	132,5	342	172	304,23
31	29	Silte-argiloso	23	3,4	6,5	148,8	355	178	327,12
32	30	Silte-argiloso	23	3,4	6,7	165,6	390	196	361,59
33	30	Silte	40	3,0	10,3	191,5	701	352	543,79
34	32	Silte	40	3,0	11,0	219,0	739	371	590,51
35	35	Silte	40	3,0	12,0	249,2	777	391	639,82
36	35	Silte	40	3,0	12,0	279,3	914	460	738,91
37	50	Silte	40	3,0	17,1	322,4	1029	517	839,45
38	50	Silte	40	3,0	17,1	365,5	1143	574	939,98
39	50	Silte	40	3,0	17,1	408,6	1143	574	983,06
40	Impenetrável à percussão								
41									
42									
43									

Tabela 10 – Cálculo da capacidade de carga com base na sondagem SC-03 pelo Método Aoki-Velloso

### c) Comparação ECD's x Aoki-Velloso

Na tabela a seguir, se pode comparar os valores de capacidade de carga obtidos através do método semi-empírico de Aoki-Velloso e do ECD.

A seguir seguem algumas considerações a respeito da comparação:

- As sondagens utilizadas como base do cálculo da capacidade de carga das estacas são as encontradas mais próximas das estacas que foram submetidas ao ECD e na terceira coluna da tabela pode-se observar a referida distância, em metros, entre a estaca e a sondagem mais próxima.
- Algumas estacas indicaram valores calculados de capacidade de carga, por Aoki-Velloso, menores em relação ao obtido através do Ensaio de Carregamento Dinâmico. Isso pode ser decorrente de uma distância considerável entre a estaca submetida ao ensaio e a sondagem, como pode ser observado nas estacas 11, 101 e 108 do Trecho 1; 101 do Trecho 2; 105 do Trecho 3; 35 do Trecho 4 ; 23, 24 e 28ª do Trecho 5. Nenhuma destas estacas possui distância sondagem-estaca menor que 14,60 metros.
- Outro potencial motivo é o fato de que, segundo Velloso e Lopes (2010), durante a cravação, são gerados excessos de poropressão e o solo sofre alterações na sua estrutura (amolgamento). Assim, quando estes excessos de poropressão são positivos e ocorre uma recuperação estrutural do solo, há uma melhora na resposta da estaca com o “tempo de descanso”. Assim, pode-se dizer que o “setup” justifica o fato do Ensaio de Carregamento Dinâmico fornecer uma resistência menor que a prevista por



Aoki-Velloso. Ainda, deve-se atentar a influência que do tempo de execução do ECD após a execução da estaca, visto que, ao analisar o comportamento de estacas em argilas moles, há um aumento da resistência lateral com o tempo após a cravação, ligado à migração da água dos poros causada pelo excesso de poropressão gerado pela cravação da estaca.

- Os Ensaio de Carregamento Dinâmico, em sua grande maioria, foram executados logo após a cravação das estacas (em um prazo máximo de 15 dias). Porém, nas estacas 30 (Trecho 5), 35 (Trecho 4) e 38 (Trecho2), o Ensaio ocorreu, respectivamente, em 49, 60 e 108 dias após o fim da cravação. Este pode ser um dos motivos pelo qual os valores obtidos no Ensaio fossem maiores que os calculados por Aoki-Velloso.
- Em estacas cravadas em profundidades além da sondagem à percussão foram adotados  $N_{spt}$  igual a 50, conforme recomendado por Velloso e Lopes (2010).
- As sondagens, conforme já mencionado, foram realizadas com uma diferença de 13 anos entre elas.

Pode-se observar uma tabela comparativa dos resultados obtidos pelo Método Aoki-Velloso e no ECD na tabela 11 da página 43.

<b>AOKI-VELLOSO X ECD's</b>				<b>Capacidade de Carga (tf)</b>	
<b>Estaca</b>	<b>Sondagem associada</b>	<b>Distância Estaca-Sondagem (m)</b>	<b>Cravado em solo (m)</b>	<b>Aoki-Velloso</b>	<b>Ensaio de Cravação Dinâmica</b>
E11 - T1	SC-02	27,55	30,46	724,6	590,0
E29 - T1	SC-01A	5,26	25,60	761,7	706,1
E30A - T1	SC-01A	5,49	26,18	781,6	549,6
E31 - T1	SC-01A	7,09	25,86	761,7	507,5
E32 - T1	SC-01A	11,12	26,04	761,7	498,2
E33 - T1	SC-01A	14,77	26,23	761,7	495,1
E35 - T1	SC-02	19,04	29,29	724,6	489,1
E44 - T1	SC-01A	0,93	25,13	761,7	513,0
E45 - T1	SC-01A	1,84	25,23	761,7	710,0
E46 - T1	SC-01A	4,84	24,51	738,8	507,8
E106 - T1	SC-02	12,87	24,72	395,2	390,0
E108 - T1	SC-02	16,25	26,67	606,4	548,4
E38 - T2	SC-04	1,42	21,80	504,5	560,0
E101 - T2	SC-02	26,72	28,13	674,0	535,6
E33 - T3	SP-201	4,63	21,65	719,6	636,3
E105 - T3	SC-05	14,6	24,98	504,5	617,5
E35 - T4	SP-202	14,62	14,78	594,9	659,8
E102 - T4	SC-05	9,3	22,79	504,5	581,8
E23 - T5	SP-204	15,78	13,05	763,0	658,2
E24 - T5	SP-204	16,15	14,50	806,0	592,8
E28A - T5	SP-204	19,39	13,10	763,0	888,1
E30 - T5	SP-204	9,73	9,55	434,4	690,0
E32 - T5	SP-204	9,53	12,35	763,0	842,0
E107 - T5	SP-204	12,58	13,33	763,0	629,0
E108 - T5	SP-204	12,37	14,37	806,0	408,5

Tabela 11 – Comparação : ECD x Método Aoki-Velloso

#### 4.2.6. Diagramas de Cravação

##### a) Conceitos básicos

Segundo Vieira (2006), o diagrama de cravação é a representação do registro do número de golpes do martelo,  $N_{estaca}$  necessários para cravar um dado comprimento de estaca. Tal número

de golpes possui uma relação direta com a nega, já que é possível determinar a nega dividindo-se o comprimento escolhido pelo número de golpes do martelo.

Porém, conforme proposto por Vieira (2006), o diagrama de cravação pode servir como forma de verificação do perfil de sondagem, normalmente caracterizado pelo Ensaio SPT. Assim, caso se estabeleça uma relação entre diagrama de cravação e o perfil SPT, será possível prever a cravabilidade de uma estaca para um dado martelo.

Segundo o Manual da ABEF (1999), Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia, o diagrama de cravação é definido como o documento de registro do número de golpes necessários para a penetração, geralmente de 0,50 m ou 1,00 m de estaca, para uma referida altura de queda do martelo. Por Velloso e Lopes (2010), no Brasil, o comprimento adotado é, normalmente, 50 cm, enquanto nos Estados Unidos, adota-se 1 pé, ou 30 cm, e a contagem é chamada de *blows per foot (BPF)*.

Pela NBR 6122: 1996 recomendava-se que em um estaqueamento fosse elaborado o diagrama de cravação em 10% das estacas, sendo incluídas, obrigatoriamente, aquelas mais próximas aos furos de sondagem. Todavia, após a reforma da Norma 6122, em 2010, a seguinte recomendação é descrita: “A nega e o repique devem ser medidos em todas as estacas, atendendo-se às condições de segurança. Deve-se elaborar o diagrama de cravação em 100% das estacas.”

## b) Observações importantes

É importante ressaltar que a eficácia do diagrama de cravação como instrumento de controle do estaqueamento é viável desde que, durante o período de cravação da estaca, a altura de queda do martelo seja mantida, para que não haja variação da energia aplicada à estaca. Às vezes, na

passagem por camadas de argila mole, se utilizam alturas de quedas menores; nesse caso, a altura de queda deve ser anotada. Tomando estes cuidados, é possível comparar o diagrama de cravação de uma estaca com a sondagem SPT executada (VIEIRA, 2006).

Outro aspecto que influencia o número de golpes na cravação de uma estaca é a ordem em que a estaca foi cravada em um grupo. É praxe se iniciar a cravação de um grupo de estacas, próximas uma das outras, pelas estacas do centro. A explicação se dá pelo fato da cravação iniciada pelas bordas causaria um confinamento do solo na região mais interna, que traria uma maior resistência à penetração das estacas na região (VIEIRA, 2006).

O diagrama de cravação elaborado em intervalos menores permite observar com mais detalhes a variação das camadas do subsolo.

Em certos diagramas como o relativo à sondagem SC-04, encontrada no Apêndice 4, verifica-se uma necessidade de muitos golpes para cravar a estaca em uma camada de  $N_{spt}$  relativamente baixo. Um possível motivo para tal necessidade é a presença de matações ou pedras de mão nesta camada do solo.

Os diagramas apresentam escalas de cinzas em seu lado esquerdo. O cinza mais claro de cada diagrama é referente a menor altura de queda do martelo (20 cm para estacas pré-moldadas ou o 1º estágio de cravação para estacas metálicas). Assim, quanto mais escura a graduação do cinza, maior será altura de queda do martelo (variando de 20 em 20 cm de altura para pré-moldadas e do 1º ao 4º estágio para as estacas metálicas). A cor preta representa a altura de queda final do martelo.

A Estaca 41, do Trecho 5, por apresentar uma única altura de queda, apresenta seu diagrama preto em sua totalidade

### c) Comparação Diagramas de cravação e sondagens

A seguir, será apresentada uma comparação entre as sondagens executadas e o diagrama de cravação obtido. Foram obtidos dois diagramas de cravação – para as duas estacas mais próxima – para cada sondagem. O intervalo adotado para o registro do número de golpes por cravação foi de 0,50 m.

Seguem os diagramas de cravação referentes à sondagem SP – 203, na qual foi realizada a comparação com a Estaca 39 do Trecho 4 e Estaca 34 do Trecho 5. E, ainda, o perfil do terreno obtido através desta sondagem(ver figura 19).

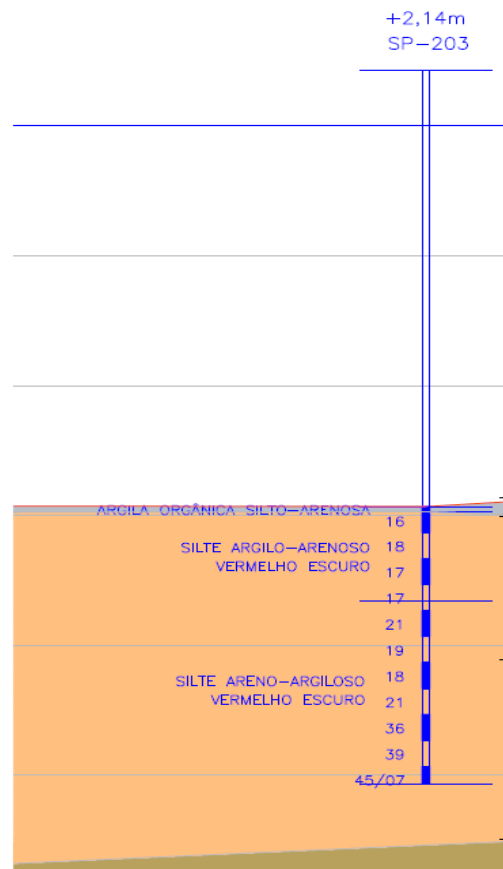


Figura 19 – Resultado da Sondagem SP – 203 (CivilPort Engenharia LTDA / Beton Stahl Engenharia LTDA)

Estaca 39 - Trecho 4																		Sondagem																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tipo de estaca		Dimensão		A material (m²)		A ponta (m²)		Perímetro (m)		Nº Furo		Empresa		Data		Distância da estaca		Prof N.A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Concreto		0,8				0,502656		2,51328		SP 203		Geotecnica				3,69 m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Martelo		Tipo		Peso(kg)		Alt. Queda (m)		Data da crav.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
		Bruce SGH 1415		14000		0,20-0,60		01/03/2013																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Diagrama de cravação																		Sondagem SPT																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
																		Prof.	N (SPT)										N																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
																			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Prof.	Número de golpes por 50 cm																Nº de golpes para 50 cm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							</

Tabela 12– Diagrama de cravação: Estaca 39 – T4 x Sondagem SP – 203

Estaca 34 - Trecho 5																		Sondagem											
Tipo de estaca		Dimensão		A material (m²)				A ponta (m²)				Perímetro (m)				Nº Furo	Empresa	Data	Distância da estaca		Prof N.A								
Concreto		0,8						0,502656				2,51328				SP 203	Geotecnica		3,70 m										
Martelo	Tipo	Peso(kg)		Alt. Queda (m)				Data da crav.																					
	Bruce SGH 1415		14000		0,20-0,60				05/03/2013				Sondagem SPT																
Diagrama de cravação																		Prof.	N (SPT)										N
																			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
Prof.	Número de golpes por 50 cm																Nº de golpes para 50 cm	0,0-1,0										16	
0,5-1,0																		18											18
1,0-1,5																		31											18
1,5-2,0																		33											17
2,0-2,5																		33											17
2,5-3,0																		34											21
3,0-3,5																		34											18
3,5-4,0																		36											21
4,0-4,5																		39											36
4,5-5,0																		42											39
5,0-5,5																		33											45
5,5-6,0																		42											45
6,0-6,5																		49											45
6,5-7,0																		51											45
7,0-7,5																		63											45
7,5-8,0																		63											45
8,0-8,5																		63											45
8,5-9,0																		64											45
9,0-9,5																		26											45
9,5-10,0																													45
10,0-10,5																													45
10,5-11,0																													45
11,0-11,5																													45
11,5-12,0																													45
12,0-12,5																													45
12,5-13,0																													45
13,0-13,5																													45
13,5-14,0																													45
14,0-14,5																													45
14,5-15,0																													45
15,0-15,5																													45
15,5-16,0																													45
16,0-16,5																													45
16,5-17,0																													45
17,0-17,5																													45
17,5-18,0																													45
18,0-18,5																													45

Tabela 13 – Diagrama de cravação: Estaca 34 – T5 x Sondagem SP – 203

Algumas observações podem ser feitas a fim de realizar a comparação dos diagramas de cravação da Estaca 39 do Trecho 4 e Estaca 34 do Trecho 5:

- Ambas as estacas se situam bastante próximas do local de execução da sondagem SP-203;
- A sondagem SP-203 atinge poucos metros de profundidade, cerca de 11 metros apenas;
- Ambas as estacas são pré-moldadas de concreto;
- Por possuírem características iguais e se situarem a distâncias praticamente idênticas e próximas das sondagens, percebe-se que o diagrama de cravação, de ambas as estacas, ficou bem semelhante;
- Na parte superior, por apresentar uma camada de solo menos resistente ( $N_{spt}$  pequeno) foi necessário menos golpes para cravar a estaca nestas camadas. Já nas camadas mais profundas, verifica-se um solo mais resistente, um número maior de golpes se fez necessário.

Na figura 20, pode-se observar outra sondagem realizada (SC-01A) e dois diagramas de cravação (tabelas 14 e 15) com algumas características diferentes dos apresentados acima:

Os demais diagramas de cravação se encontram no Apêndice 4.



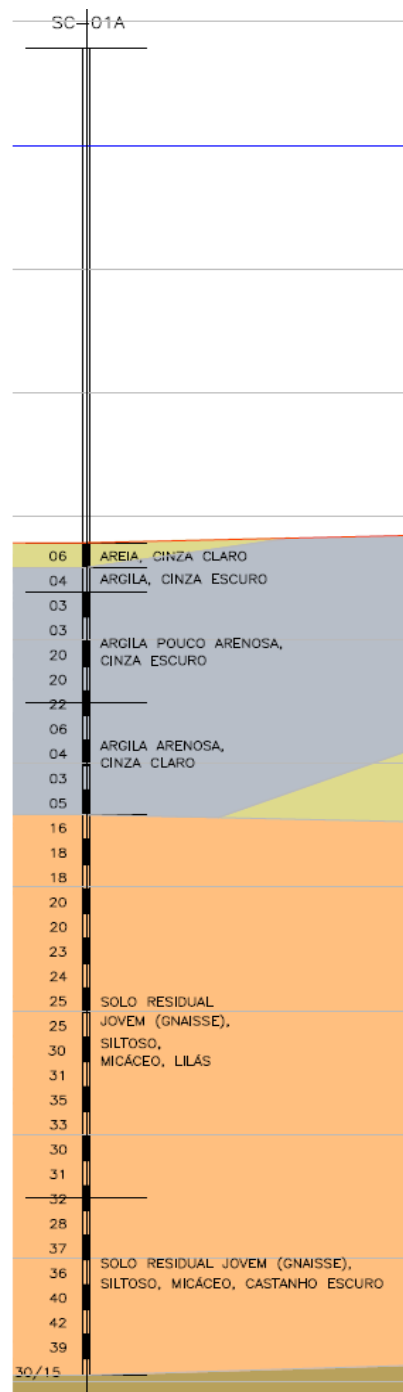


Figura 20 – Resultado da Sondagem SC – 01A (CivilPort Engenharia LTDA / Beton Stahl Engenharia LTDA)



Estaca 45 - Trecho 1																		Sondagem SC - 01A													
Tipo de estaca		Dimensão (m)			A material (m²)			A ponta (m²)			Perímetro (m)			Nº Furo		Empresa		Data		Distância da estaca			Prof N.A								
Concreto		0,8						0,502656			2,51328			SC 01 A		Geotecnia				2,55 m											
Martelo		Tipo			Peso(kg)			Alt. Queda (m)			Data da crav.																				
		Bruce SGH 1415			14000			0,20-1,00			20/09/2012			Sondagem SPT																	
Diagrama de cravação																		Prof.		N (SPT)										N	
Prof.		Número de golpes por 50 cm																Nº de golpes para 50 cm													N
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80			85	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
0,5-1,0																														6	
1,0-1,5																														4	
1,5-2,0																															
2,0-2,5																														3	
2,5-3,0																															
3,0-3,5																														8	
3,5-4,0																														31	
4,0-4,5																														25	
4,5-5,0																														18	
5,0-5,5																														18	
5,5-6,0																														7	
6,0-6,5																														0	
6,5-7,0																														0	
7,0-7,5																														0	
7,5-8,0																														8	
8,0-8,5																														14	
8,5-9,0																														19	
9,0-9,5																														22	
9,5-10,0																														28	
10,0-10,5																														64	
10,5-11,0																														38	
11,0-11,5																														19	
11,5-12,0																														17	
12,0-12,5																														18	
12,5-13,0																														21	
13,0-13,5																														24	
13,5-14,0																														25	
14,0-14,5																														26	
14,5-15,0																														26	
15,0-15,5																														26	
15,5-16,0																														26	
16,0-16,5																														29	
16,5-17,0																														32	
17,0-17,5																														33	
17,5-18,0																														45	
18,0-18,5																														90	
18,5-19,0																														78	
19,0-19,5																														66	
19,5-20,0																														60	
20,0-20,5																														159	
20,5-21,0																														137	
21,0-21,5																														92	
21,5-22,0																														84	
22,0-22,5																															

Tabela 15 – Diagrama de cravação: Estaca 45 – T1 x Sondagem SC – 01A

Assim como nos diagramas anteriores apresentados, podemos analisar algumas características interessantes nos diagramas referentes a Sondagem SC-01A:

- Diferentemente da sondagem anterior (SP-201), esta sondagem atingiu uma profundidade elevada, visto que a camada impenetrável situa-se na cota -49,00;
- A Estaca 44 é uma estaca mista, pois apresenta uma ponteira metálica com 6 metros de comprimento. Já a Estaca 45 é uma estaca de concreto pré-moldado sem ponteira metálica;
- Enquanto a Estaca 44 foi cravada a pequena distância da sondagem (cerca de 25 cm), a Estaca 45 dista 2,55 m do local onde foi realizada a sondagem;
- Percebe-se no início da sondagem uma camada de argila arenosa com uma resistência considerável ( $N_{spt} \approx 20$ ) na qual foi necessária uma quantidade de golpes que variou de 10 a 14 golpes, para a estaca 44, e de 18 a 31 golpes, para a estaca 45;
- Procede-se uma camada de argila mole ( $N_{spt} \approx 4$ ) na qual não foi necessário aplicar golpes para cravação de ambas as estaca, visto que a mesma desceu em queda livre cerca de 2 metros;
- Na Estaca 44, ainda houve outro trecho, logo após, em que a estaca desceu 1 metro em queda livre;
- Com o aumento da profundidade, o solo se mostrou mais resistente e com isso foram necessários mais golpes para cravação das estacas, conforme o esperado.

## 5. Superfícies obtidas pelos boletins de cravação

### 5.1. Objetivo

Com o auxílio do Software Surfer foi possível construir o perfil do terreno encontrado no Berço 301 do TECON de Itaguaí. Foram geradas, ainda, superfícies relativas às cotas na qual a estaca desceu com o peso próprio, o qual acabará por fornecer uma ideia da resistência do terreno e da camada superficial através da cota de ponta da estaca.

### 5.2. Superfícies geradas

#### 5.2.1 Terreno

Na figura 21 se pode observar o Arranjo Geral do Berço 301 do TECON. À esquerda está localizado o Berço 302, tendo logo à sua direita o Trecho 1 do Berço 301. Na extremidade à direita, observa-se o Trecho 5 do Berço e a ponte de acesso ao cais.

Verifica-se o Corte B-B (ver fig. 22) , o qual nos possibilitará visualizar o perfil do terreno obtido através de levantamentos de campo.

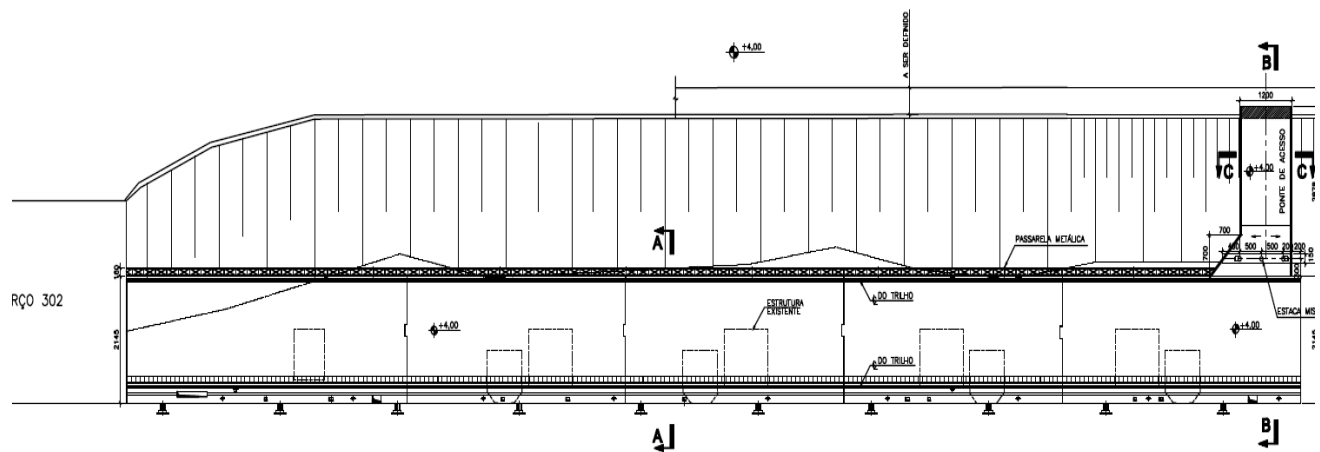


Figura 21 – Arranjo Geral do Berço 301 (CivilPort Engenharia LTDA / Beton Stahl Engenharia LTDA)

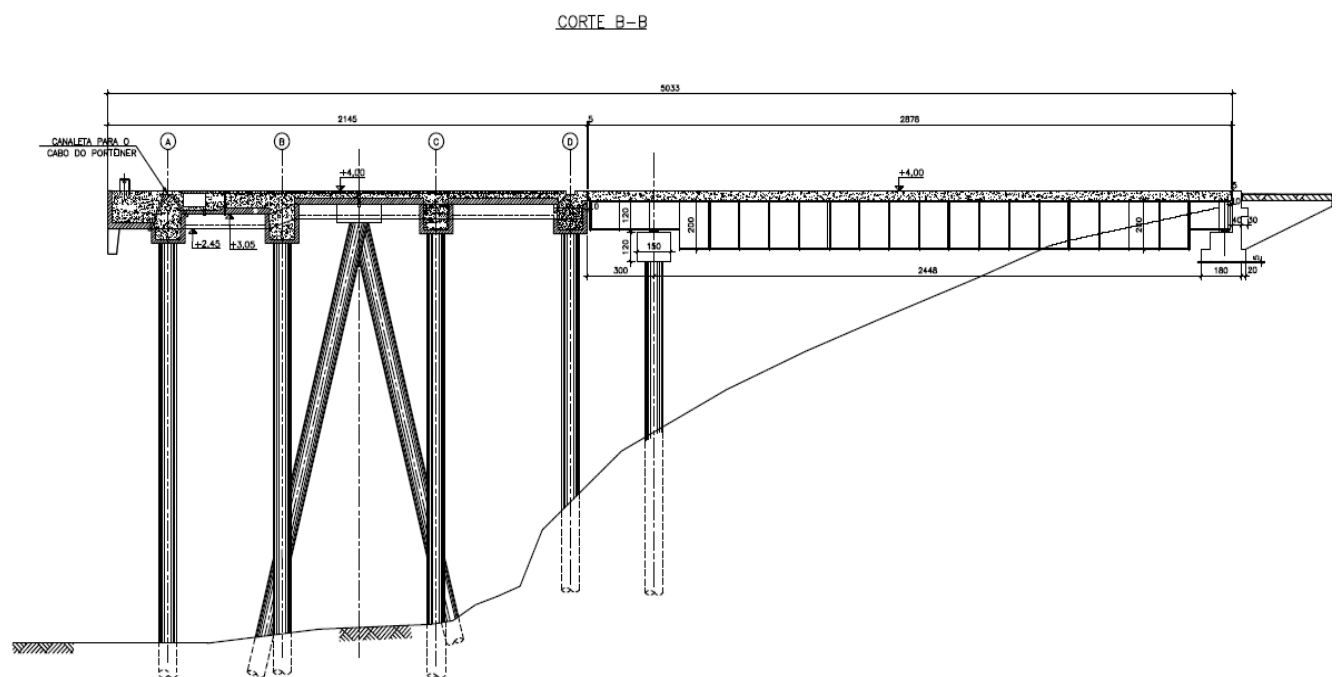


Figura 22 – Corte B-B (CivilPort Engenharia LTDA / Beton Stahl Engenharia LTDA)

Abaixo, na figura 23, é apresentada a superfície gerada do terreno de todos os trechos tendo como base as cotas obtidas através dos boletins de cravação de estacas que se encontram em anexo.

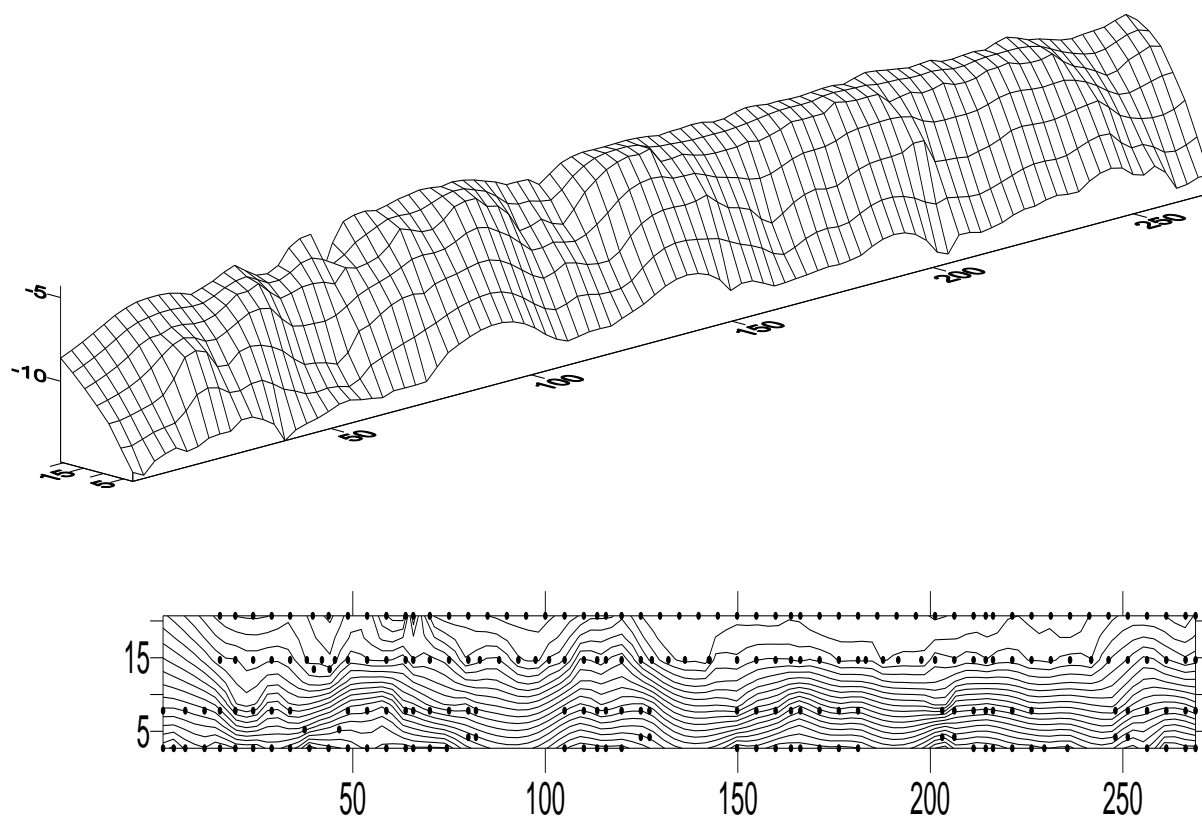


Figura 23 – Superfície do terreno gerado através de software

Na primeira figura, observa-se a superfície do terreno em três dimensões. Já na segunda figura observa-se a planta baixa, na qual os pontos vistos nela representam as estacas nas quais forneceram as informações necessárias para sua elaboração.

Ao comparar a superfície gerada através do software e a elaborada pelas sondagens, percebemos que em ambos, o terreno se comporta conforme o esperado. Percebe-se, ainda, uma declividade

do terreno indo do trecho 5 ao trecho 1, conforme pode ser observado no perfil geotécnico em apêndice.

Pode-se destacar a presença de uma camada de vasa marinha, típica de baías, o que acaba por dificultar a definição do fundo.

Assim, percebe-se a coerência entre a superfície do terreno gerado e a superfície obtida através das sondagens.



### 5.2.2 Peso Próprio

A seguir observa-se a superfície gerada baseando-se na cota atingida devido ao peso próprio da estaca. Esta superfície nos fornecerá uma ideia da resistência da camada superficial do terreno.

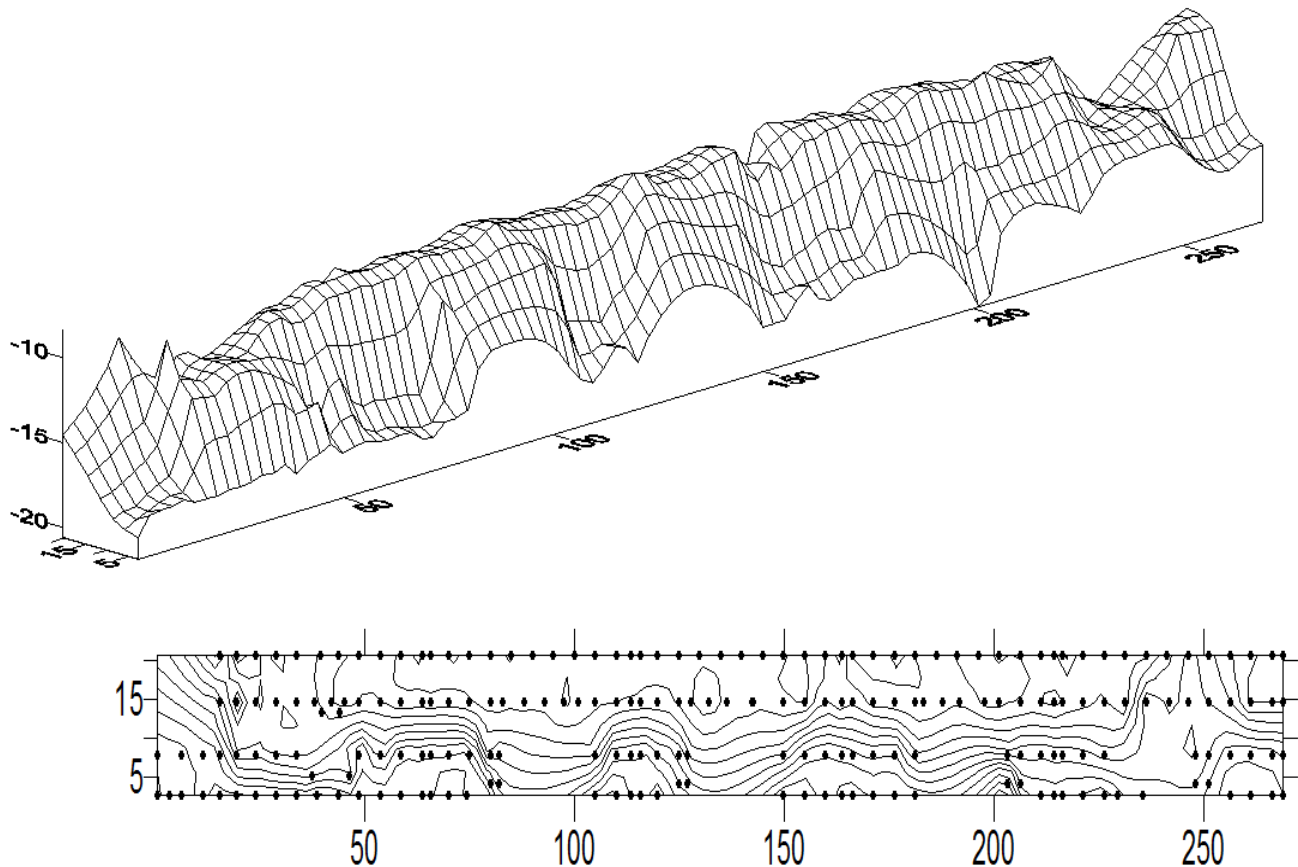


Figura 24 – Superfície gerada devido à penetração das estacas por peso próprio através de software

Através desta superfície, se percebe os trechos onde há a presença de uma camada de argila mole mais espessa. Isto é verificado no trecho 1 do Berço 301 e no trecho 5, onde também há uma camada de argila mole / muito mole.

### 5.2.3 Ponta

Abaixo é possível visualizar a superfície gerada com base na cota da ponta da estaca ao final da cravação, conforme fornecido pelo boletim de cravação de estacas.

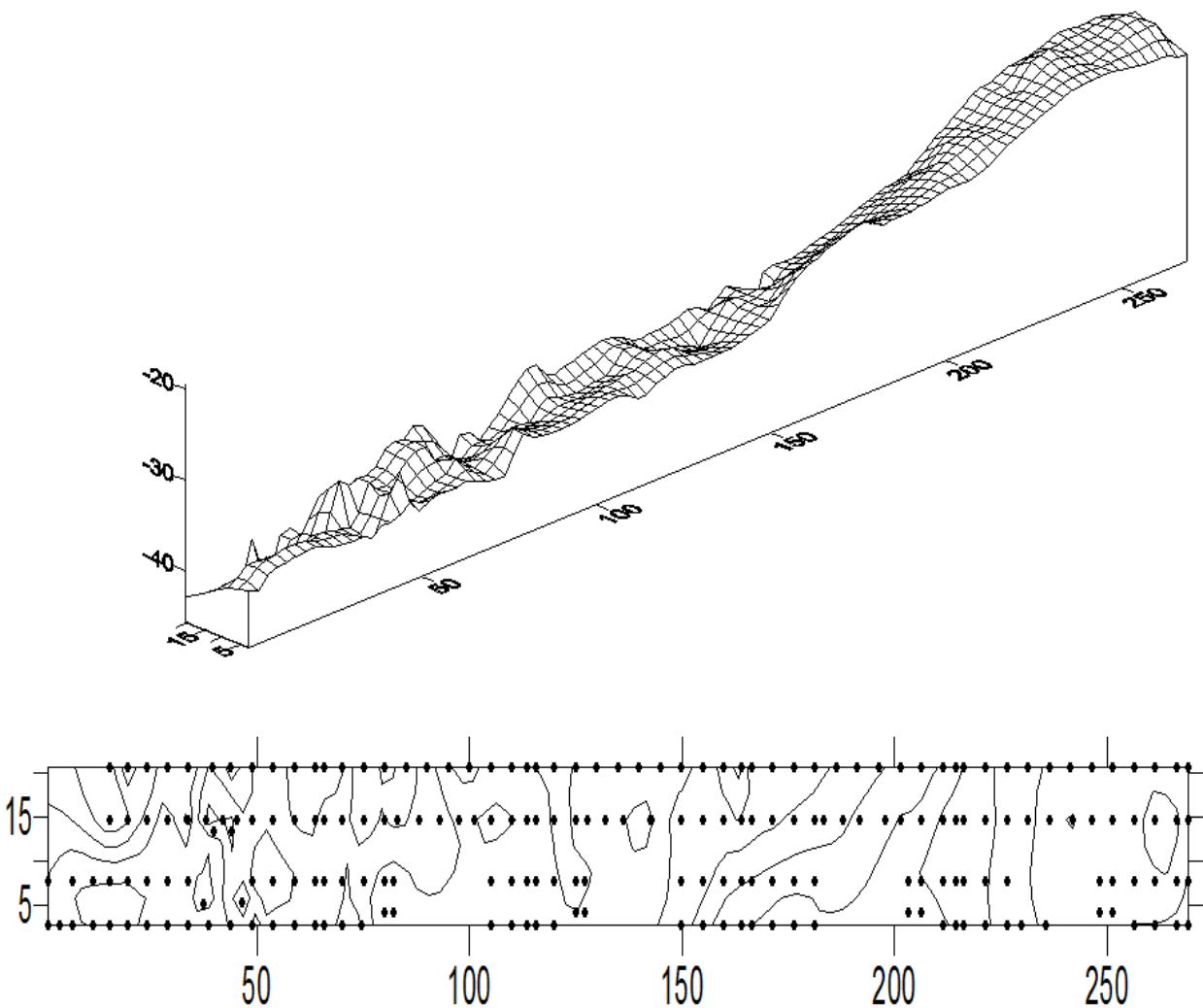


Figura 25 – Superfície gerada através de software para cotas de ponta das estacas

Conforme esperado, a superfície gerada baseada na cota da ponta da estaca possui cotas mais profundas (variando de -40 a -30) nos trechos 1, 2 e 3. Conforme se aproxima dos trechos 4 e 5, as cotas de ponta tendem a se aproximar da -20. Isto porque o topo rochoso, conforme observado no perfil geotécnico, em apêndice, sobe ao se aproximar do trecho 5.

## 6. Conclusões

Através das diversas análises comparativas realizadas neste trabalho, algumas conclusões interessantes podem ser tiradas a respeito do estaqueamento do Berço 301 do Porto de Itaguaí. Primeiramente, analisaram-se os resultados das sondagens e o perfil geotécnico. Através destes, percebe-se que a profundidade dos solos sedimentar e residual variam quase linearmente ao longo da obra. Assim, como forma de garantir uma elevada capacidade de carga, as estacas foram cravadas a grandes profundidades e, ainda, em camadas impenetráveis à percussão na sondagem.

Os martelos (BRUCE e D62) utilizados na cravação das estacas apresentaram boa eficiência na cravação das estacas. Um estudo realizado pelo professor Francisco Lopes recomendou o martelo D62 para cravação em vez do martelo D46.

Já em relação à capacidade de carga das estacas, na grande maioria das estacas, os valores obtidos por Aoki-Velloso foram próximos ou superiores aos dos Ensaio de Carregamento Dinâmico, conforme esperado. Nos casos em que houve uma maior discrepância de valores, alguns fatores podem ter contribuído para tal, como, por exemplo: a distância sondagem-estaca e o *set-up* do solo (recuperação do solo). O mesmo pode-se dizer dos diagramas de cravação das estacas. Ao observar o formato dos diagramas elaborados, percebe-se uma íntima relação entre o número de golpes necessários para cravar as estacas e o  $N_{spt}$ , fornecido nas sondagens realizadas.

E por último, as superfícies geradas com base nas cotas do terreno muito resistente e com a ponta da estaca. Assim, conclui-se que as sondagens realizadas no local de execução da obra do

Berço 301 do Terminal de Contêineres do Porto de Itaguaí se mostraram satisfatórias devido à compatibilidade e da coerência com os dados do estaqueamento.

Apesar de tal compatibilidade, é importante ressaltar a baixa quantidade de sondagens inicialmente realizadas no local, o que acabou por prejudicar o andamento da obra e o orçamento inicial previsto da obra.

É interessante acrescentar a importância de outras investigações geotécnicas complementares como Ensaio de Piezocone (CPT-u), Ensaios Dilatométricos (DMT), Vane Test, retirada de amostras para ensaios do solo em laboratório.

Ao se obter uma maior gama de informações a respeito do solo do local de execução da obra, pode-se ter uma melhor previsão do estaqueamento, reduzindo a incidência de problemas na obra e futuros.

## 7. Apêndices

Conforme mencionado anteriormente, serão apresentados 4 apêndices.

Apêndice 1 : Perfil Geotécnico / Resultado das sondagens.

Apêndice 2 : Planta do Arranjo Geral do Berço 301.

Apêndice 3 : Planilhas de cálculos da resistência das estacas por Aoki-Velloso.

Apêndice 4 : Diagramas de cravação das estacas.

## 8. Referências Bibliográficas

ABNT : Associação Brasileira de Normas Técnicas; ***NBR 6122:2010 – Projeto e execução de fundações***;

ABNT : Associação Brasileira de Normas Técnicas; ***NBR 6484:2001 – Solo – Sondagens de Simples reconhecimento com SPT – Método de Ensaio***;

ABNT : Associação Brasileira de Normas Técnicas; ***NBR 6497:1983 – Levantamento Geotécnico – Procedimento***;

ABNT : Associação Brasileira de Normas Técnicas; ***NBR 6502:1995 – Rochas e Solos: Terminologia***;

ABNT : Associação Brasileira de Normas Técnicas; ***NBR 7250:1982 – Identificação e descrição de amostras de solo obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos***;

ABNT : Associação Brasileira de Normas Técnicas; ***NBR 8036:1983 – Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios***;

ALVES, Antônio; ***Notas de aula : Fundações*** – Universidade Federal do Rio Grande (FURG), 2011;

AOKI, Nelson; ***Controle in situ da Capacidade de Carga de Estacas Pré-fabricadas via Repique Elástico da Cravação***; Ed. ABMS; 1986;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA. ***Manual de especificações de produtos e procedimentos ABEF***. São Paulo: ABEF, 1999;

BAUER PILECO; Catálogo: ***Hammer Brochure – Diesel Hammers and Leads***, 2013;

BENATON Fundações – Publicação : ***Deslocamento Permanente x Capacidade de Carga***;

BRUCE PILING EQUIPMENTS; Informações técnicas em:  
[http://www.powerquip.co.kr/products/h\\_specification\\_fixed1415.html](http://www.powerquip.co.kr/products/h_specification_fixed1415.html);

COMPANHIA DOCAS DO RIO DE JANEIRO – Informações disponíveis em:  
<http://www.portosrio.gov.br/itaguai/index.htm>;

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL. CSN apresenta: Plataforma Logística CSN em Itaguaí. [http://www.mzweb.com.br/csn/web/arquivos/csn\\_apr2\\_20080507\\_port.pdf](http://www.mzweb.com.br/csn/web/arquivos/csn_apr2_20080507_port.pdf);

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. Pesquisa CNT do Transporte Marítimo 2012 em: [http://www.cnt.org.br/pesquisamaritima/files/Porto\\_Itaguaí\\_PCNTTM\\_2012.pdf](http://www.cnt.org.br/pesquisamaritima/files/Porto_Itaguaí_PCNTTM_2012.pdf)

MACHADO, Sandro Lemos; MACHADO, Miriam de Fátima; ***Conceitos Introdutórios de Mecânica dos Solos*** – Universidade Federal da Bahia; 1998;

MARANGON, Márcio; ***Geotecnia de Fundações***; Universidade Federal de Juiz de Fora; 2009;

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR.

Informações disponíveis em :

<http://www.desenvolvimento.gov.br//sitio/interna/index.php?area=5>;

MRS LOGÍSTICA – Informações disponíveis em:  
[http://www.mrs.com.br/aempresa/popup\\_mrs\\_ok.php](http://www.mrs.com.br/aempresa/popup_mrs_ok.php);

PILE DYNAMICS, INC; Informações disponíveis em: <http://www.pile.com/pdi/products/pda/>;

REVISTA TÉCHNE; Edição 95 ; ***Artigo: Estacas a toda prova***; Fevereiro 2005;

SCHNAID, Fernando; In Situ Testing in Geomechanics – The Main Tests; Ed. Taylor & Francis, 2009;

VELLOSO, Dirceu de Alencar ; LOPES, Francisco de Rezende; ***Fundações, volume 2: fundações profundas*** ; Nova Edição ; São Paulo; Oficina de Textos, 2010;

VIEIRA, Silvio Heleno de Abreu ; Tese de Mestrado – COPPE UFRJ; ***Controle de cravação de estacas pré-moldadas: Avaliação de diagramas de cravação e fórmulas dinâmicas***, 2006.



## APÊNDICE 1

## APÊNDICE 2

## APÊNDICE 3

OBRA :	TECON Berço 301 - Porto De Itaguaí									
Estaca:	E29, 30A ,31, 32, 33, 44, 45 e 46 - T1						Sondagem:	SC-01A		
Tipo de Estaca		F1	F2	Área (m²)	P = Perímetro (m)					
Pré-moldada de concreto		1,75	3,5	0,50	2,51					
Profundidade	Nspt	Tipo de Solo	k(tf/m²)	α(%)	Qlateral (tf)		Qponta(tf)		Qult(tf)	
					τ= (αkN)/F2	P . ΣτΔl	q=kN/F1	A.q		
1	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
2	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
3	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
4	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
5	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
6	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
7	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
8	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
9	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
10	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
11	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
12	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
13	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
14	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
15	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
16	6	Areia	100	1,4	2,4	6,0	190	96	101,78	
17	4	Argila	20	6,0	1,4	9,5	50	25	34,37	
18	3	Argila	20	6,0	1,0	12,1	38	19	31,21	
19	3	Argila	20	6,0	1,0	14,6	99	50	64,44	
20	20	Argila	20	6,0	6,9	31,9	164	82	114,22	
21	20	Argila	20	6,0	6,9	49,1	236	119	167,84	
22	22	Argila	20	6,0	7,5	68,1	183	92	159,99	
23	6	Argila Arenosa	35	2,4	1,4	71,7	213	107	178,93	
24	4	Argila Arenosa	35	2,4	1,0	74,1	87	44	117,67	
25	3	Argila Arenosa	35	2,4	0,7	75,9	80	40	116,13	
26	5	Argila Arenosa	35	2,4	1,2	78,9	160	80	159,36	
27	16	Silte	40	3,0	5,5	92,7	297	149	242,08	
28	18	Silte	40	3,0	6,2	108,2	396	199	307,38	
29	18	Silte	40	3,0	6,2	123,7	427	214	338,21	
30	20	Silte	40	3,0	6,9	141,0	442	222	363,10	
31	20	Silte	40	3,0	6,9	158,2	480	241	399,48	
32	23	Silte	40	3,0	7,9	178,0	510	257	434,62	
33	24	Silte	40	3,0	8,2	198,7	549	276	474,45	
34	25	Silte	40	3,0	8,6	220,2	564	283	503,65	
35	25	Silte	40	3,0	8,6	241,8	610	306	548,17	
36	30	Silte	40	3,0	10,3	267,6	655	329	597,00	
37	31	Silte	40	3,0	10,6	294,4	731	368	662,01	
38	35	Silte	40	3,0	12,0	324,5	754	379	703,66	
39	33	Silte	40	3,0	11,3	352,9	747	375	728,27	
40	30	Silte	40	3,0	10,3	378,8	716	360	738,80	
41	31	Silte	40	3,0	10,6	405,5	709	356	761,68	
42	32	Silte	40	3,0	11,0	433,1	693	349	781,59	
43	28	Silte	40	3,0	9,6	457,2	739	371	828,70	
44	37	Silte	40	3,0	12,7	489,1	770	387	875,90	
45	36	Silte	40	3,0	12,3	520,1	861	433	952,88	
46	40	Silte	40	3,0	13,7	554,6	899	452	1006,50	
47	42	Silte	40	3,0	14,4	590,8	922	463	1054,18	
48	39	Silte	40	3,0	13,4	624,4	998	502	1126,08	
49	50	Silte	40	3,0	17,1	667,5	1059	532	1199,80	
50	Impenetrável à percussão									
51										
52										

OBRA :	TECON Berço 301 - Porto De Itaguaí								
Estaca:	E35, 106 e 108 - T1 / E101 - T2						Sondagem:	SC-02	
Tipo de Estaca	F1	F2	Área (m²)	P = Perímetro (m)					
Pré-moldada de concreto	1,75	3,5	0,50	2,51					
Profundidade	Nspt	Tipo de Solo	k(tf/m²)	α(%)	Qlateral (tf)		Qponta(tf)		Qult(tf)
					τ= (αkN)/F2	P . ΣτΔl	q=kN/F1	A.q	
1	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
2	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
3	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
4	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
5	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
6	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
7	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
8	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
9	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
10	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
11	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
12	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
13	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
14	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
15	8	Argila	20	6,0	2,7	6,9	53	27	33,70
16	6	Argila	20	6,0	2,1	12,1	84	42	54,19
17	8	Argila	20	6,0	2,7	19,0	69	34	53,43
18	4	Argila	20	6,0	1,4	22,4	65	33	54,96
19	5	Argila	20	6,0	1,7	26,7	53	27	53,52
20	5	Argila	20	6,0	1,7	31,0	53	27	57,83
21	4	Argila	20	6,0	1,4	34,5	57	29	63,19
22	6	Areia	100	1,4	2,4	40,5	305	153	193,69
23	6	Argila	20	6,0	2,1	45,7	72	36	82,05
24	7	Argila	20	6,0	2,4	51,7	80	40	91,91
25	8	Argila	20	6,0	2,7	58,6	114	57	116,04
26	15	Silte-argiloso	23	3,4	3,4	67,0	171	86	152,90
27	16	Silte-argiloso	23	3,4	3,6	76,0	215	108	183,91
28	18	Silte-argiloso	23	3,4	4,0	86,1	237	119	205,02
29	20	Silte-argiloso	23	3,4	4,5	97,3	263	132	229,47
30	22	Silte-argiloso	23	3,4	4,9	109,7	272	137	246,23
31	20	Silte-argiloso	23	3,4	4,5	120,9	280	141	261,86
32	22	Silte-argiloso	23	3,4	4,9	133,3	298	150	283,02
33	26	Silte-argiloso	23	3,4	5,8	147,9	324	163	310,84
34	26	Silte-argiloso	23	3,4	5,8	162,5	359	181	343,05
35	30	Silte-argiloso	23	3,4	6,7	179,3	324	163	342,28
36	18	Silte-argiloso	23	3,4	4,0	189,4	294	148	336,97
37	19	Silte-argiloso	23	3,4	4,2	200,1	250	126	325,62
38	20	Silte-argiloso	23	3,4	4,5	211,3	285	143	354,47
39	26	Silte-argiloso	23	3,4	5,8	225,9	302	152	377,88
40	23	Silte-argiloso	23	3,4	5,1	238,8	311	156	395,20
41	22	Silte-argiloso	23	3,4	4,9	251,2	329	165	416,36
42	30	Silte	40	3,0	10,3	277,1	655	329	606,41
43	34	Silte	40	3,0	11,7	306,4	731	368	674,01
44	32	Silte	40	3,0	11,0	333,9	777	391	724,56
45	36	Silte-arenoso	55	2,2	12,4	365,2	1121	563	928,66
46	39	Silte-arenoso	55	2,2	13,5	399,1	1310	658	1057,33
47	50	Silte-arenoso	55	2,2	17,3	442,5	1456	732	1174,50
48	50	Silte-arenoso	55	2,2	17,3	486,0	1571	790	1275,86
49	Impenetrável à percussão								
50									
51									
52									

## Impenetrável à percussão

OBRA :	TECON Berço 301 - Porto De Itaguaí								
Estaca:	E105 - T3 / E102 - T4						Sondagem:	SC-05	
Tipo de Estaca	F1	F2	Área (m²)	P = Perímetro (m)					
Pré-Moldada de Concreto	1,75	3,5	0,50	2,51					
Profundidade	Nspt	Tipo de Solo	k(tf/m²)	α(%)	Qlateral (tf)		Qponta(tf)		Qult(tf)
					τ= (αkN)/F2	P . ΣτΔl	q=kN/F1	A.q	
1	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
2	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
3	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
4	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
5	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
6	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
7	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
8	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
9	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
10	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
11	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
12	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
13	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
14	0	Argila Orgânica	20	6,0	0,0	0,0	0	0	0,00
15	0	Silte Argilo Arenoso	25	3,0	0,0	0,0	0	0	0,00
16	0	Silte Argilo Arenoso	25	3,0	0,0	0,0	0	0	0,00
17	0	Silte Argilo Arenoso	25	3,0	0,0	0,0	0	0	0,00
18	0	Silte Argilo Arenoso	25	3,0	0,0	0,0	33	17	16,76
19	7	Argila Siltosa	22	4,0	1,8	4,4	63	32	36,02
20	8	Argila Siltosa	22	4,0	2,0	9,5	96	48	57,92
21	8	Silte-argiloso	23	3,4	1,8	14,0	149	75	88,84
22	18	Silte-argiloso	23	3,4	4,0	24,1	166	84	107,76
23	12	Silte-argiloso	23	3,4	2,7	30,8	206	103	134,32
24	17	Silte-argiloso	23	3,4	3,8	40,4	197	99	139,46
25	16	Silte-argiloso	23	3,4	3,6	49,3	223	112	161,66
26	18	Silte-argiloso	23	3,4	4,0	59,5	245	123	182,77
27	22	Silte-argiloso	23	3,4	4,9	71,8	254	128	199,53
28	18	Silte-argiloso	23	3,4	4,0	81,9	258	130	211,84
29	19	Silte-argiloso	23	3,4	4,2	92,6	232	117	209,30
30	16	Silte-argiloso	23	3,4	3,6	101,6	228	115	216,08
31	17	Silte-argiloso	23	3,4	3,8	111,1	364	183	293,89
32	50	Alteração de rocha	23	3,4	11,2	139,2	513	258	396,84
33	50	Alteração de rocha	23	3,4	11,2	167,3	657	330	497,59
34	50	Alteração de rocha	23	3,4	11,2	195,3	657	330	525,66
35	50	Alteração de rocha	23	3,4	11,2	223,4	657	330	553,74
36	50	Alteração de rocha	23	3,4	11,2	251,5	657	330	581,82
37	Impenetrável à percussão								
38									

OBRA :	TECON Berço 301 - Porto De Itaguaí									
Estaca:	E33 - T3						Sondagem:	SP-201		
Tipo de Estaca	F1	F2	Área (m²)	P = Perímetro (m)						
Pré-moldada de concreto	1,75	3,5	0,50	2,51						
Profundidade	Nspt	Tipo de Solo	k(tf/m²)	α(%)	Qlateral (tf)		Qponta(tf)		Qult(tf)	
					$\tau = (\alpha kN)/F2$	$P \cdot \sum \tau \Delta l$	$q = kN/F1$	A.q		
1	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
2	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
3	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
4	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
5	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
6	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
7	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
8	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
9	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
10	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
11	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
12	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
13	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
14	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
15	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00	
16	6	Argila Silto-Arenosa	33	3,0	1,7	4,3	63	32	35,86	
17	4	Argila Silto-Arenosa	33	3,0	1,1	7,1	94	47	54,50	
18	5	Areia Argilosa	60	3,0	2,6	13,6	411	207	220,38	
19	27	Areia	100	1,4	10,8	40,7	1067	536	576,88	
20	24	Areia	100	1,4	9,6	64,8	1429	718	782,92	
21	24	Areia	100	1,4	9,6	89,0	1352	680	768,75	
22	23	Areia	100	1,4	9,2	112,1	1162	584	696,13	
23	14	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	3,0	119,6	276	139	258,46	
24	21	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	4,5	130,9	271	136	267,38	
25	22	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	4,7	142,8	395	199	341,46	
26	40	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	8,6	164,3	533	268	432,41	
27	50	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	10,7	191,3	667	335	526,36	
28	50	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	10,7	218,2	714	359	577,23	
29	50	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	10,7	245,1	714	359	604,16	
30	50	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	10,7	272,0	714	359	631,08	
31	50	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	10,7	299,0	714	359	658,01	
32	50	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	10,7	325,9	714	359	684,94	
33	50	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	10,7	352,8	714	359	711,87	
34	50	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	10,7	379,8	714	359	738,79	
35	50	Solo Residual Siltoso	40	3,0	17,1	422,8	1143	574	997,30	
36	50	Solo Residual Siltoso	40	3,0	17,1	465,9	1143	574	1040,39	
37	50	Solo Residual Siltoso	40	3,0	17,1	509,0	1143	574	1083,47	
38	50	Solo Residual Siltoso	40	3,0	17,1	552,1	1143	574	1126,56	
39	50	Solo Residual Siltoso	40	3,0	17,1	595,2	1143	574	1169,64	
40		<b>Impenetrável à percussão</b>								
41										
42										
43										
44										
Obs: Foi adotado um solo residual siltoso em uma camada onde a estaca foi cravada, porém nessa camada foi identificado como impenetrável pela sondagem. Nspt adotado = 50.										



OBRA :	TECON Berço 301 - Porto De Itaguaí								
Estaca:	E35 - T4						Sondagem:	SP-202	
Tipo de Estaca	F1	F2	Área (m²)	P = Perímetro (m)					
Pré-moldada de concreto	1,75	3,5	0,50	2,51					
Profundidade	Nspt	Tipo de Solo	k(tf/m²)	α(%)	Qlateral (tf)		Qponta(tf)		Qult(tf)
					τ= (αkN)/F2	P . ΣτΔl	q=kN/F1	A.q	
1	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
2	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
3	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
4	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
5	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
6	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
7	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
8	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
9	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
10	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
11	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
12	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
13	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
14	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
15	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
16	12	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	2,6	6,5	110	55	61,52
17	11	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	2,4	12,4	162	81	93,77
18	11	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	2,4	18,3	162	81	99,69
19	12	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	2,6	24,8	214	108	132,49
20	22	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	4,7	36,6	262	132	168,27
21	21	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	4,5	47,9	305	153	201,12
22	21	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	4,5	59,2	310	156	214,83
23	23	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	4,9	71,6	376	189	260,72
24	35	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	7,5	90,5	443	223	313,08
25	35	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	7,5	109,3	529	266	375,02
26	41	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	8,8	131,4	571	287	418,64
27	44	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	9,4	155,1	643	323	478,24
28	50	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	10,7	182,0	686	345	526,71
29	50	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	10,7	209,0	714	359	568,00
30	50	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	10,7	235,9	714	359	594,93
31	50	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	10,7	262,8	714	359	621,86
32	Impenetrável à percussão								
33									
34									
35									

OBRA :		TECON Berço 301 - Porto De Itaguaí							
Estaca:		-					Sondagem:	SP-203	
Tipo de Estaca		F1	F2	Área (m²)	P = Perímetro (m)				
Pré-moldada de concreto		1,75	3,5	0,50	2,51				
Profundidade	Nspt	Tipo de Solo	k(tf/m²)	α(%)	Qlateral (tf)		Qponta(tf)		Qult(tf)
					τ= (αkN)/F2	P . ΣτΔl	q=kN/F1	A.q	
1	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
2	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
3	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
4	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
5	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
6	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
7	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
8	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
9	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
10	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
11	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
12	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
13	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
14	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
15	16	Argila Silto-Arenosa	33	3,0	4,5	11,4	0	0	11,37
16	18	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	3,9	21,1	243	122	143,14
17	17	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	3,6	30,2	248	124	154,69
18	17	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	3,6	39,4	262	132	171,03
19	21	Silte Arenó-Argiloso	45	2,8	7,6	58,4	489	246	303,96
20	19	Silte Arenó-Argiloso	45	2,8	6,8	75,6	497	250	325,46
21	18	Silte Arenó-Argiloso	45	2,8	6,5	91,9	497	250	341,75
22	21	Silte Arenó-Argiloso	45	2,8	7,6	110,9	643	323	433,99
23	36	Silte Arenó-Argiloso	45	2,8	13,0	143,4	823	414	557,04
24	39	Silte Arenó-Argiloso	45	2,8	14,0	178,7	1071	539	717,27
25	50	Silte Arenó-Argiloso	45	2,8	18,0	224,0	1191	599	822,83
26		Impenetrável à percussão							
27									
28									
29									
30									
31									

OBRA :	TECON Berço 301 - Porto De Itaguaí								
Estaca:	E23, 24, 28A, 30, 32, 107 e 108 -T5						Sondagem:	SP-204	
Tipo de Estaca	F1	F2	Área (m²)	P = Perímetro (m)					
Pré-moldada de concreto	1,75	3,5	0,50	2,51					
Profundidade	Nspt	Tipo de Solo	k(tf/m²)	α(%)	Qlateral (tf)		Qponta(tf)		Qult(tf)
					τ= (αkN)/F2	P . ΣτΔl	q=kN/F1	A.q	
1	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
2	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
3	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
4	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
5	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
6	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
7	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
8	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
9	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
10	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
11	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
12	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
13	0	Água	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
14	0	Argila Orgânica	1	1,0	0,0	0,0	0	0	0,00
15	7	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	1,5	3,8	67	34	37,28
16	7	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	1,5	7,5	114	57	64,99
17	10	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	2,1	12,9	133	67	79,95
18	11	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	2,4	18,8	210	105	124,17
19	23	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	4,9	31,2	281	141	172,46
20	25	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	5,4	44,7	362	182	226,61
21	28	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	6,0	59,8	381	191	251,27
22	27	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	5,8	74,3	414	208	282,56
23	32	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	6,9	91,6	519	261	352,46
24	50	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	10,7	118,5	629	316	434,44
25	50	Silte Argilo-arenoso	25	3,0	10,7	145,4	714	359	504,45
26	50	Solo Residual Siltoso	40	3,0	17,1	188,5	1143	574	762,96
27	50	Solo Residual Siltoso	40	3,0	17,1	231,6	1143	574	806,04
28	50	Solo Residual Siltoso	40	3,0	17,1	274,7	1143	574	849,13
29	50	Solo Residual Siltoso	40	3,0	17,1	317,7	1143	574	892,21
30	50	Solo Residual Siltoso	40	3,0	17,1	360,8	1143	574	935,30
31	50	Solo Residual Siltoso	40	3,0	17,1	403,9	1143	574	978,38
32	50	Solo Residual Siltoso	40	3,0	17,1	447,0	1143	574	1021,47
33	50	Solo Residual Siltoso	40	3,0	17,1	490,1	1143	574	1064,55
34	50	Solo Residual Siltoso	40	3,0	17,1	533,2	1143	574	1107,64
35	Impenetrável à percussão								
36									
37									

## APÊNDICE 4





Estaca 6 - Trecho 2																		Sondagem											
Tipo de estaca		Dimensão		A material (m²)		A ponta (m²)		Perímetro (m)		Nº Furo	Empresa	Data	Distância da estaca		Prof N.A														
Concreto		0,8				0,502656		2,51328		SC 03	Geotecnica		3,83 m																
Martelo		Tipo		Peso(kg)		Alt. Queda (m)		Data da crav.																					
		Pileco D62 - 22		6000		0,20-0,80		06/03/2013																					
Diagrama de cravação																		Sondagem SPT											
																		Prof.	N (SPT)										N
5	10	15	20	25	30	35	40	45	50																				
Prof.	Número de golpes por 50 cm																	Nº de golpes para 50 cm											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85												
0,0-1,0																		0,0-1,0	6										
0,5-1,0																		3											
1,0-1,5																		4	4										
1,5-2,0																		4											
2,0-2,5																		4	3										
2,5-3,0																		12											
3,0-3,5																		4	3										
3,5-4,0																		6											
4,0-4,5																		13	4										
4,5-5,0																		12											
5,0-5,5																		11	2										
5,5-6,0																		11											
6,0-6,5																		11	6										
6,5-7,0																		11											
7,0-7,5																		10	7										
7,5-8,0																		10											
8,0-8,5																		12	9										
8,5-9,0																		14											
9,0-9,5																		10	7										
9,5-10,0																		10											
10,0-10,5																		10	6										
10,5-11,0																		10											
11,0-11,5																		12	8										
11,5-12,0																		10											
12,0-12,5																		10	9										
12,5-13,0																		10											
13,0-13,5																		15	21										
13,5-14,0																		18											
14,0-14,5																		19	23										
14,5-15,0																		18											
15,0-15,5																		20	27										
15,5-16,0																		20											
16,0-16,5																		25	27										
16,5-17,0																		26											
17,0-17,5																		28	22										
17,5-18,0																		32											
18,0-18,5																		34	29										
18,5-19,0																		41											
19,0-19,5																		33	30										
19,5-20,0																		35											
20,0-20,5																		36	30										
20,5-21,0																		41											
21,0-21,5																		45	32										
21,5-22,0																		49											
22,0-22,5																		50	35										
2,5-23,0																		55											
23,0-23,5																		56	35										
23,5-24,0																		70											
24,0-24,5																		73	50										
24,5-25,0																		76											
25,0-25,5																		80											
25,5-26,0																		100											
26,0-26,5																		135											
26,5-27,0																		165											
27,0-27,5																		132											
27,5-28,0																			28,0-29,0										
28,0-28,5																													

[illegible]





[illegible]



[illegible]

[illegible]









[illegible]

[illegible]



Estaca 40 - Trecho 5																			Sondagem																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tipo de estaca		Dimensão		A material (m²)		A ponta (m²)		Perímetro (m)			Nº Furo		Empresa		Data		Distância da estaca			Prof N.A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Concreto		0,8				0,502656		2,51328			SP 204		Geotecnica				5,38 m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Martelo		Tipo		Peso(kg)		Alt. Queda (m)		Data da crav.			Sondagem SPT																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		Bruce SGH 1415		14000		0,20-0,40		13/03/2013																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Diagrama de cravação																			Prof.											N (SPT)											N																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
																														5	10	15	20	25	30	35	40	45	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Prof.	Número de golpes por 50 cm																	Nº de golpes para 50 cm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
0,5-1,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									</

Estaca 41 - Trecho 5																			Sondagem																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Tipo de estaca		Dimensão		A material (m²)		A ponta (m²)		Perímetro (m)			Nº Furo		Empresa		Data		Distância da estaca			Prof N.A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Concreto		0,8				0,502656		2,51328			SP 204		Geotecnica				3,68 m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Martelo		Tipo		Peso(kg)		Alt. Queda (m)		Data da crav.			Sondagem SPT																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		Bruce SGH 1415		14000		0,20-0,80		16/03/2013																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Diagrama de cravação																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
																			Prof.	N (SPT)										N																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
																				5	10	15	20	25	30	35	40	45	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Prof.	Número de golpes por 50 cm																	Nº de golpes para 50 cm		0,0-1,0											7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0,5-1,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										